

**ANALISIS HUBUNGAN PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN  
DAN INDIKATOR FUNGSI HIDROLOGI DAERAH ALIRAN  
SUNGAI (DAS) DENGAN MODEL *GenRiver* DI SUB DAS  
BRANGKAL MOJOKERTO**

Oleh :  
**DEWI FATMOSARI**



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS PERTANIAN  
MALANG  
2018**

## RINGKASAN

Dewi Fatmosari. 115040213111001. **ANALISIS HUBUNGAN PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DENGAN INDIKATOR FUNGSI HIDROLOGI DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) DENGAN MODEL *GenRiver* di SUB DAS BRANGKAL MOJOKERTO.** Di bawah bimbingan Sugeng Prijono dan Didik Suprayogo.

---

Sub DAS Brangkal merupakan bagian hulu dari DAS Brantas yang tersebar di Kabupaten Mojokerto. Bencana banjir yang cukup besar tahun 2004 dan banjir tahunan yang terjadi hingga saat ini menyebabkan kerusakan teknis terhadap prasarana bangunan sungai di sepanjang Sub DAS Brangkal. Untuk mengatasi permasalahan banjir ini perlu adanya pengelolaan Sub DAS Brangkal. Tujuan penelitian ini adalah (1) Menganalisis hubungan perubahan tutupan lahan dengan indikator fungsi hidrologi sub DAS Brangkal dan (2) Mengevaluasi kondisi hidrologi tutupan lahan berdasarkan Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW), tutupan lahan aktual dan daya dukung lahan dalam pengendalian banjir.

Waktu pelaksanaan penelitian yaitu Oktober (2015) September (2016). Lokasi penelitian meliputi wilayah DAS Brangkal terletak di Kabupaten Mojokerto. Penelitian ini menggunakan Model *Generic River Flow* (GenRiver) merupakan suatu model sederhana yang mensimulasikan aliran sungai pada suatu DAS. Penelitian ini mempunyai 3 skenario yang akan disimulasikan yaitu (1) Penggunaan lahan RTRW (Rencana Tata Ruang dan Wilayah), (2) Kemampuan lahan dan (3) Penggunaan lahan aktual (2016).

Hasil simulasi ada hubungan yang sangat kuat antara sifat hujan dan penggunaan lahan terhadap indikator hidrologi. Penggunaan lahan yang mempunyai pengaruh dominan terhadap nilai indikator hidrologi adalah pemukiman dan hutan. Pemukiman lebih mempengaruhi terhadap nilai *Total Water Yield* (TWY). Penggunaan lahan sawah dan tegalan/ladang mempengaruhi nilai *Relative Buffering Indicator* (RBI). Sedangkan penggunaan lahan hutan dan hutan+perkebunan lebih dominan mempengaruhi nilai *Buffering Indicator* (BI) dan *Buffering Peak Event* (BPE). Nilai indikator hidrologi berbagai skenario penggunaan lahan berdasarkan RTRW, kemampuan lahan dan aktual dapat disimpulkan bahwa penggunaan lahan yang berdasarkan skenario tata guna lahan yang mempunyai nilai TWY (Total Water Yield) tertinggi pada skenario berdasarkan tata guna lahan aktual. Pada nilai indikator hidrologi BI (*Buffering Indicator*), RBI (*Relative Buffering Indicator*) dan BPE (*Buffering Peak Event*) tertinggi pada skenario 2 dimana tata guna lahan berdasarkan kemampuan lahan. Sebaran daerah rawan banjir pada Sub DAS Brangkal dapat disimpulkan pada skenario 2 dimana tata guna lahan berdasarkan kemampuan lahan mempunyai luasan daeran rawan banjir yang kategori aman lebih luas dibandingkan dengan skenario 1 (RTRW) dan skenario 3 (aktual).

**Kata kunci :** tata guna lahan, banjir, model *GenRiver*, indikator fungsi hidrologi

## SUMMARY

Dewi Fatmosari.115040213111001. **CORRELATION ANALYSIS CHANGES OF LANDCOVER WITH INDICATORS OF HYDROLOGY FUNCTIONS RIVER FLOW WITH MODELS OF MODELS IN SUB DAS BRANGKAL MOJOKERTO.** Supervised by Sugeng Prijono dan Didik Suprayogo.

---

The Brangkal River Basin is an upstream part of the Brantas watershed in Mojokerto Regency. A large flood disaster in 2004 and annual flooding that occurred until now there was technical damage to river building infrastructure along the Brangkal Sub-watershed. To overcome the problem of flooding, it is necessary to have the management of the Brangkal Sub-watershed. The objectives of this research are (1) to analyze the relationship of land cover changes with the indicators of the Brangkal sub watershed hydrological function and (2) to evaluate the hydrological conditions of land cover based on the Spatial and Regional Plan (RTRW), actual land cover and land carrying capacity in flood control ..

The time for conducting research is October (2015) September (2016). The research location covers the Brangkal River Basin area in Mojokerto Regency. This study uses the Generic River Flow Model (GenRiver) is a simple model that simulates river flow in a watershed. This study has 3 scenarios that will be simulated, namely (1) land use RTRW (Spatial and Regional Planning), (2) land capability and (3) actual land use (2016).

The simulation results have a very strong relationship between the nature of rain and land use on hydrological indicators. Land use that has a dominant influence on the value of hydrological indicators is residential and forest. Settlements have more influence on the value of Total Water Yield (TWY). The use of paddy fields and fields / fields affects the value of the Relative Buffering Indicator (RBI). Whereas forest and forest + plantation land use predominantly affects the Buffering Indicator (BI) and Buffering Peak Event (BPE) values. Hydrological indicator values for various land use scenarios based on RTRW, land capability and actual can be concluded that land use based on land use scenarios that have the highest TWY (Total Water Yield) value in the scenario based on actual land use. At the highest value of BI (Buffering Indicator), RBI (Relative Buffering Indicator) and BPE (Buffering Peak Event) hydrological indicators in scenario 2 where land use is based on land capability. The distribution of flood-prone areas in the Brangkal Sub-watershed can be concluded in scenario 2 where land use based on the ability of the land has a flood hazard area that is broader in the safe category compared to scenario 1 (RTRW) and scenario 3 (actual).

**Keywords:** *land use, flooding, GenRiver models, hydrological function indicators*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan hasil skripsi yang berjudul **ANALISIS HUBUNGAN PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DENGAN INDIKATOR FUNGSI HIDROLOGI DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) DENGAN MODEL *GenRiver* di SUB DAS BRANGKAL MOJOKERTO**. Pada kesempatan kali ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng Prijono, SU., selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan dan masukan dalam penyusunan skripsi.
2. Bapak Ir. Didik Suprayogo, M.Sc.PhD., selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan dan masukan dalam penyusunan skripsi.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU., selaku Ketua Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.
4. Kedua orang tua dan keluarga yang di rumah selalu memberikan semangat dan do'a sehingga terselesaikan skripsi ini.
5. Rekan-rekan mahasiswa yang selalu memberikan semangat sehingga terselesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga masukan dan kritik sangat dibutuhkan oleh penulis. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat baik bagi rekan-rekan mahasiswa, pihak-pihak di lokasi penulis melaksanakan penelitian, masyarakat umum dan berbagai pihak yang lainnya sekedar sebagai bahan ilmu pengetahuan serta bermanfaat bagi penulis khususnya.

Malang, 10 Juli 2018

## DAFTAR ISI

RINGKASAN .....	i
SUMMARY .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
RIWAYAT HIDUP .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR LAMPIRAN .....	viii
I. PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan .....	3
1.3. Hipotesis .....	3
1.4. Manfaat .....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1. Daerah Aliran Sungai (DAS) .....	4
2.2. Pengertian Banjir .....	5
2.3. Hidrologi .....	6
2.4. Penggunaan Lahan Sub DAS Brangkal .....	6
2.5. Kemampuan Lahan .....	8
2.6. Tata Ruang .....	9
2.7. Model <i>GenRiver</i> .....	10
2.8. Kriteria dan Indikator Fungsi Hidrologi .....	11
III. METODE PENELITIAN .....	14
3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian .....	14
3.2. Alat dan Bahan .....	14
3.3. Metode Penelitian .....	15
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	21
4.1. Kondisi Biofisik .....	21
4.2. Hubungan Sifat Hujan dan Penggunaan Lahan .....	24
4.3. Upaya Perbaikan Hidrologi DAS .....	34
V. KESIMPULAN DAN SARAN .....	42
5.1. Kesimpulan .....	42
5.2. Saran .....	42

DAFTAR PUSTAKA .....	44
LAMPIRAN .....	47



## DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1.	Kriteria dan Indikator Fungsi Hidrologi .....	13
2.	Alat dan Bahan yang Digunakan Selama Penelitian.....	15
3.	Bobot Parameter Penyebab Banjir .....	17
4.	Nilai Tingkat Kerawanan Banjir .....	18
5.	Luas Penggunaan Lahan (Rtrw).....	18
6.	Luas kemampuanlahan.....	19
7.	Luas Penggunaan Lahan (2016).....	19
8.	Jenis Tanah.....	21
9.	Perubahan Penggunaan Lahan .....	20
10.	Debit Sub Das Brangkal.....	23
11.	Perubahan Penggunaan Lahan .....	26
12.	Luas Daerah Rawan Banjir Tiap Skenario.....	32





## DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1.	Peta Administrasi .....	15
2.	Peta Jenis Tanah .....	22
3.	Total curah hujan tahunan .....	24
4.	Hubungan curah hujan dan debit.....	25
5.	Hubungan <i>Total Water Yield</i> (TWY) pada tiap penggunaan lahan .....	27
6.	Hubungan <i>Buffering Indicator</i> (BI) pada tiap penggunaan lahan .....	29
7.	Hubungan <i>Relative Buffering Indicator</i> (RBI) pada penggunaan lahan ..	31
8.	Hubungan <i>Buffering Peak Event</i> (BPE) pada tiap penggunaan lahan ....	33
9.	Validasi model .....	34
10.	Hubungan debit simulasi dan pengamatan.....	35
11.	Nilai <i>Total Water Yield</i> (TWY) pada tiap skenario .....	36
12.	Nilai <i>Buffering Indicator</i> (BI) pada tiap skenario .....	37
13.	Nilai <i>Relative Buffering Indicator</i> (RBI) pada tiap skenario.....	38
14.	Nilai <i>Buffering Peak Event</i> (BPE) pada tiap skenario .....	39
15.	Peta sebaran kerawanan banjir .....	41



## DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Halaman
1.	Peta Penggunaan Lahan Tahun 2000, 2004, 2009 Dan 2014 .....	47
2.	Peta Penggunaan Lahan Sub DAS Brangkal Tahun 2016 .....	48
3.	Peta Kemampuan Lahan Sub DAS Brangkal.....	49
4.	Peta RTRW Tahun 2012- 2032 Sub DAS Brangkal.....	50
5.	Peta Sebaran Debit Sub DAS Brangkal .....	51
6.	Peta Lereng Sub DAS Brangkal.....	52
7.	Nilai Skor Parameter .....	53
8.	Tabel Korelasi Hubungan Hujan Dan Debit .....	55
9.	Tabel Korelasi Hubungan Penggunaan Lahan Dengan BI .....	56
10.	Tabel Korelasi Hubungan Penggunaan Lahan Dengan TWY .....	57
11.	Tabel Korelasi Hubungan Penggunaan Lahan Dengan BPE .....	58
12.	Tabel Korelasi Hubungan Penggunaan Lahan Dengan RBI.....	59
13.	Tabel Korelasi Hubungan Debit Simulasi Dan Debit Pengamatan .....	60
14.	Hasil ANOVA Regresi di Genstat .....	61

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau laut secara alami. Daya dukung DAS cenderung mengalami penurunan karena meningkatnya kebutuhan akan pangan, air dan energi. Penurunan daya dukung DAS yang ditandai dengan terjadinya banjir, tanah longsor, erosi, sedimentasi dan kekeringan yang mengakibatkan terganggunya perekonomian dan tata kehidupan masyarakat (PP 37 tahun 2012 tentang pengelolaan DAS).

Sub DAS Brangkal ini merupakan bagian dari Sumber Daya Alam (SDA) Kabupaten Mojokerto. Sub DAS Brangkal termasuk dalam RTRW (Rencana Tata Ruang Wilayah) Kabupaten Mojokerto Tahun 2012-2032 yang bertujuan untuk mewujudkan pengelolaan dan pelestarian Sumber Daya Alam (SDA) dan lingkungan hidup secara berkelanjutan adalah upaya untuk menata dan memanfaatkan SDA secara optimal dengan tetap menjaga kelestarian lingkungan hidup sehingga SDA yang ada di Kabupaten Mojokerto dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan (Peraturan Daerah Kabupaten Mojokerto Nomor 9 tahun 2012). Sesuai dengan Perda Kabupaten Mojokerto Nomor 9 tahun 2012 pasal 36 bahwa Sub DAS Brangkal merupakan kawasan rawan banjir.

Tahun 2004 di Sub DAS Brangkal terjadi kondisi siaga 1 dengan kelebihan debit sebesar  $214 \text{ m}^3/\text{detik}$  yang disertai gerusan tebing dan putusnya tanggul di beberapa tempat terutama di wilayah kota Mojokerto dan sempat mengganggu kegiatan perekonomian di daerah tersebut. Bencana banjir yang terjadi ini membawa banyak material berupa sedimen (endapan) yang masuk ke pemukiman di Kecamatan Sooko. Kerusakan tersebut terjadi terutama pada lokasi dengan keadaan geologi, morfologi, hidrologi dan klimatologi yang tidak menguntungkan. Hal ini diperparah oleh banyaknya penjarahan hutan terutama di kawasan hulu yang meliputi 4 kecamatan yaitu Kecamatan Trawas, Pacet, Gondang, Jatirejo. Selain itu banyak

terjadi perubahan fungsi kawasan lindung menjadi pemukiman (Radar Mojokerto, 2004). Berdasarkan fakta dilapangan akibat adanya bencana banjir yang cukup besar tahun 2004 dan ditambah akibat banjir tahunan yang terjadi hingga saat ini terjadi kerusakan teknis terhadap prasarana bangunan sungai di sepanjang Sub DAS Brangkal. Untuk mengatasi permasalahan banjir ini perlu adanya pengelolaan Sub DAS Brangkal.

Pengelolaan Sub DAS Brangkal tata guna lahan pada DAS harus sesuai dengan kemampuan lahan . Kemampuan lahan merupakan sifat dasar kesanggupan lahan memberikan hasil untuk penggunaan tertentu secara optimal dan lestari. Lahan yang tidak tertutup oleh vegetasi akan menyebabkan berkurangnya bahan organik akibat terkena langsung air hujan yang turun, selain itu aliran permukaan akan lebih besar sehingga produktivitas tanah akan berkurang. Tata guna lahan yang bersifat merubah tipe atau jenis penutup lahan dalam suatu DAS sering kali dapat memperbesar atau memperkecil hasil air (*water yield*). Terjadinya perubahan tata guna lahan dan vegetasi tersebut, dalam skala besar dan bersifat permanen, dapat mempengaruhi besar kecilnya hasil air (Asdak, 2007). Seperti yang diketahui saat musim penghujan debit Sub DAS mengalami surplus dan defisit di musim kemarau. Jika kondisi ini tidak ada penanganan atau tindakan masyarakat akan mengalami krisis air pada musim kemarau dan bencana banjir yang terjadi tiap musim penghujan pada sub DAS Brangkal. Untuk itu perlunya konservasi air di sub DAS tersebut.

Mengacu pada permasalahan yang terjadi di Sub DAS Brangkal diperlukan pengelolaan memadukan konservasi tanah dan air. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menganalisa dampak tutupan lahan terhadap fungsi hidrologi pada DAS yaitu dengan pemodelan *GenRiver*. Model *GenRiver* ini dapat mengetahui kondisi hidrologi pada tiap perubahan tutupan lahan. *GenRiver* 2.0 adalah suatu model sederhana yang memodelkan kesetimbangan air dari skala plot ke skala bentang lahan. Model *GenRiver* 2.0 dapat digunakan untuk memahami sejarah perubahan debit sungai akibat perubahan penggunaan/penutupan lahan. Oleh karena itu, dilakukan suatu penelitian terkait dengan Analisis Hubungan Perubahan Tutupan

Lahan dengan Indikator Fungsi Hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS) dengan Model *Genriver* di Sub Das Brangkal Mojokerto.

### **1.2. Tujuan**

1. Menganalisis hubungan perubahan tutupan lahan dengan indikator fungsi hidrologi sub DAS Brangkal.
2. Mengevaluasi kondisi hidrologi tutupan lahan berdasarkan Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW), tutupan lahan aktual dan daya dukung lahan dalam pengendalian banjir.

### **1.3. Hipotesis**

1. Ada hubungan yang sangat kuat antara perubahan tutupan lahan dengan indikator fungsi hidrologi sub DAS Brangkal.
2. Dengan tata guna lahan Sub DAS Brangkal yang sesuai Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) Kabupaten Mojokerto dan daya dukung lahan Sub DAS Brangkal ini dapat memperbaiki kondisi hidrologi DAS terutama mengurangi bahaya banjir daripada penggunaan lahan yang aktual.

### **1.4. Manfaat**

Dalam penelitian ini dapat dijadikan sebagai acuan dalam pengambilan kebijakan terkait rencana pengelolaan DAS. Hal ini dikarenakan dalam perubahan tutupan lahan mempunyai pengaruh terhadap kondisi hidrologi pada DAS atau Sub DAS.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Pengertian Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah aliran sungai (*watershed*) adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya dimana berfungsi untuk menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. (Lampiran Peraturan Direktur Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial Nomor : P.04/V-SET/2009 tanggal : 05 Maret 2009)

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau laut secara alami. Daya dukung DAS cenderung mengalami penurunan karena meningkatnya kebutuhan akan pangan, air dan energi. Penurunan daya dukung DAS yang ditandai dengan terjadinya banjir, tanah longsor, erosi, sedimentasi dan kekeringan yang mengakibatkan terganggunya perekonomian dan tata kehidupan masyarakat (PP 37 tahun 2012 tentang pengelolaan DAS).

Asdak (2007) menyatakan bahwa beberapa karakteristik DAS yang mempengaruhi debit aliran antara lain yaitu :

- a. Luas DAS. Luas DAS menentukan besarnya daya tampung terhadap masukan hujan. Makin luas DAS makin besar daya tampung, berarti makin besar volume air yang dapat disimpan dan disumbangkan oleh DAS.
- b. Kemiringan lereng DAS. Semakin besar kemiringan lereng suatu DAS semakin cepat laju debit dan akan mempercepat respon DAS terhadap curah hujan.
- c. Bentuk DAS. Bentuk DAS yang memanjang dan sempit cenderung menurunkan laju limpasan daripada DAS yang berbentuk melebar walaupun luas keseluruhan dari dua bentuk DAS tersebut sama.

- d. Jenis tanah. Setiap jenis tanah memiliki kapasitas infiltrasi yang berbeda-beda, sehingga semakin besar kapasitas infiltrasi suatu jenis tanah dengan curah hujan yang singkat maka laju debit akan semakin kecil.
- e. Pengaruh vegetasi. Vegetasi dapat memperlambat jalannya air aliran dan memperbesar jumlah air yang tertahan di atas permukaan tanah, dengan demikian akan menurunkan laju debit aliran.

Konsep daerah aliran sungai atau yang sering disingkat dengan DAS merupakan dasar dari semua perencanaan hidrologi. Daerah Aliran Sungai (DAS) secara umum dapat didefinisikan sebagai suatu wilayah yang dibatasi oleh batas alam, seperti punggung bukit-bukit atau gunung, maupun batas buatan seperti jalan atau tanggul, dimana air hujan yang turun di wilayah tersebut memberikan kontribusi aliran ke titik pelepasan (*outlet*) (Suripin, 2004).

Sub DAS Brangkal merupakan bagian hulu dari DAS Brantas dan terletak di  $112^{\circ} 24' 25''$  -  $112^{\circ} 34' 53''$  Bujur Timur dan  $7^{\circ} 35' 35''$  -  $07^{\circ} 46' 20''$  Lintang Selatan pada Kabupaten Mojokerto. Sub DAS Brangkal mempunyai luas wilayah sebesar  $\pm 288,05 \text{ km}^2$  dengan panjang alur sungai 46,05 km. Hulu Sub DAS Brangkal terletak di Pegunungan Anjasmoro Gunung Welirang dan bermuara di DAS Brantas (Brangkal Project, 2005).

## 2.2. Pengertian Banjir

Banjir adalah meluapnya air sungai melalui tepi sungai yang mengenai areal tertentu dan secara signifikan menimbulkan kerugian materi ataupun non materi. Peristiwa banjir tidak akan menjadi masalah jika tidak mengganggu aktivitas manusia, permasalahan timbul setelah manusia melakukan kegiatan pada daerah dataran banjir yang potensi tergenangnya lebih besar dari dataran lainnya (Kodoatie, 2002).

Macam – macam banjir menurut Suripin (2004) dibagi menjadi 3 macam, yaitu sebagai berikut:

1. Banjir kiriman merupakan banjir yang disebabkan oleh aliran air yang datang dari hulu di luar dari kawasan yang tergenang. Hal seperti ini terjadi apabila hujan pada daerah hulu yang menimbulkan banjir dikarenakan melebihi kapasitas sungai atau banjir kanal yang ada sehingga terjadi limpasan.



2. Banjir lokal merupakan genangan air yang terjadi akibat hujan pada daerah tersebut. Hal ini dikarenakan kondisi hujan yang melebihi kapasitas drainase.
3. Banjir rob merupakan banjir yang terjadi dikarenakan aliran langsung dari air pasang atau air balik dari saluran drainase akibat terhambat oleh air pasang laut.

### 2.3. Hidrologi

Hidrologi merupakan suatu ilmu yang mempelajari air dalam bentuknya baik cairan, gas dan padat baik di dalam atau di atas permukaan tanah. Termasuk dalam hal penyebaran daur maupun perilaku air, sifat-sifat fisika dan kimia air, serta unsur-unsur hidup dalam air (Asdak, 2007). Siklus hidrologi merupakan fokus utama ilmu hidrologi dan salah satu aspek penting yang diperlukan pada proses analisis hidrologi. Laut merupakan tempat penampungan air terbesar di bumi. Sinar matahari yang dipancarkan ke bumi memanaskan suhu air di permukaan air laut, danau, atau yang terikat pada permukaan tanah. Kenaikan suhu memacu perubahan wujud air dari cair menjadi gas. Molekul air dilepas menjadi gas. Molekul air dilepas ini disebut dengan proses evaporasi (*evaporation*). Air yang terperangkap di permukaan tanaman juga akan menjadi gas karena pemanasan oleh sinar matahari. Proses ini dinamakan dengan transpirasi (*transpiration*). Air yang menguap melalui proses evaporasi dan transpirasi selanjutnya akan naik ke atmosfer membentuk uap air (Indarto, 2010).

Dalam hubungannya dengan sistem hidrologi, suatu DAS mempunyai karakteristik yang spesifik berkaitan erat dengan unsur utamanya seperti jenis tanah, tata guna lahan, topografi, kemiringan dan panjang lereng. Karakteristik biofisik DAS tersebut dalam merespon curah hujan yang jatuh di dalam DAS tersebut dapat memberikan pengaruh terhadap besar kecilnya evapotranspirasi, infiltrasi, perkolasi, aliran permukaan, kandungan air tanah, dan aliran sungai. Diantara faktor-faktor yang berperan dalam menentukan sistem hidrologi tersebut di atas, faktor tata guna lahan dan kemiringan dan panjang lereng direayasa oleh manusia (Asdak, 2007).

### 2.4. Kemampuan Lahan



Kemampuan lahan merupakan karakteristik lahan yang mencakup sifat tanah (fisik dan kimia), topografi, drainase, dan kondisi lingkungan hidup lain. Berdasarkan karakteristik lahan tersebut, dapat dilakukan klasifikasi kemampuan lahan ke dalam tingkat kelas, sub kelas, dan unit pengelolaan (Hardjowigeno dan Widiatmaka 2007).

Kriteria faktor pembatas yang menentukan kelas atau subkelas maupun satuan kemampuan lahan menurut Arsyad (2006), yaitu:

#### 1. Iklim

Dua komponen iklim yang paling mempengaruhi kemampuan lahan, yaitu temperature dan curah hujan. Temperatur yang rendah mempengaruhi jenis dan pertumbuhan tanaman. Di daerah tropika yang paling penting mempengaruhi temperatur udara adalah ketinggian letak suatu tempat dari permukaan laut. Udara yang bebas bergerak akan turun temperaturnya pada umumnya dengan 1°C untuk setiap 100 m naik di atas permukaan laut. Penyediaan air secara alami berupa curah hujan yang terbatas atau rendah di daerah agak basah (sub humid), agak kering (semi arid) dan kering (arid) mempengaruhi kemampuan tanah.

#### 2. Lereng, Ancaman Erosi dan Erosi

Kerusakan tanah oleh erosi sangat nyata mempengaruhi penggunaan tanah, cara pengelolaan atau keragaan (kinerja) tanah disebabkan oleh alasan-alasan berikut:

- a) Suatu kedalaman tanah yang cukup harus dipelihara agar didapatkan produksi tanaman yang sedang sampai tinggi.
- b) Kehilangan lapisan tanah oleh erosi mengurangi hasil tanaman.
- c) Kehilangan unsur hara oleh erosi adalah penting tidak saja oleh karena pengaruhnya terhadap hasil tanaman akan tetapi juga oleh karena diperlukan biaya penggantian unsur hara tersebut untuk dapat memelihara hasil tanaman yang tinggi.
- d) Kehilangan lapisan permukaan tanah merubah sifat-sifat fisik lapisan olah yang akan sangat jelas kelihatan pada tanah yang lapisan bawah bertekstur lebih halus.

- e) Kehilangan tanah oleh erosi menyingkap lapisan bawah yang memerlukan waktu dan perlakuan yang baik untuk dapat menjadi media pertumbuhan yang baik bagi tanaman.
- f) Bangunan-bangunan pengendalian air dapat rusak oleh sedimen yang berasal dari erosi.
- g) Jika terbentuk parit-parit oleh erosi (gully) maka akan lebih sulit pemulihan tanah untuk menjadi produktif kembali.

### 3. Kedalaman Tanah (k)

Kedalaman tanah efektif adalah kedalaman tanah yang baik bagi pertumbuhan akar tanaman, yaitu kedalaman sampai pada lapisan yang tidak dapat ditembus oleh akar tanaman. Kedalaman efektif adalah kedalaman tanah sampai sejauh mana tanah dapat ditumbuhi akar, menyimpan cukup air dan hara, umumnya dibatasi adanya kerikil dan bahan induk atau lapisan keras yang lain, sehingga tidak lagi dapat ditembus akar tanaman (Utomo, 1989).

### 4. Tekstur Tanah (t)

Tekstur tanah adalah salah satu faktor penting yang mempengaruhi kapasitas tanah untuk menahan air dan permeabilitas tanah serta berbagai sifat fisik dan kimia tanah lainnya.

5. Permeabilitas (p) merupakan kemampuan tanah untuk melalukan air dan udara (Utomo, 1989)

### 6. Drainase

Drainase adalah kondisi mudah tidaknya air menghilang dari permukaan tanah yang mengalir melalui aliran permukaan atau melalui peresapan ke dalam tanah (Utomo, 1989).

## 1.5. Tata Ruang

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 26 tahun 2007 Pasal 1 ayat 1 bahwa ruang sendiri itu adalah wadah meliputi ruang darat, ruang laut dan ruang udara, termasuk ruang di dalam bumi sebagai kesatuan wilayah, tempat manusia dan makhluk lain hidup, melakukan kegiatan dan memelihara kelangsungan hidup.

Sedangkan, dalam pengertian dari tata ruang berdasarkan Undang-Undang Nomor 26 tahun 2007 adalah sebagai wujud struktural dan pola pemanfaatan ruang atau wadah, baik direncanakan atau tidak.

Tata ruang adalah wujud struktural pemanfaatan ruang suatu wilayah, yang direncanakan dan menunjukkan hierarki dalam rangka keserasian tata guna tanah, air, angkasa dan tata sumber daya lainnya. Tujuannya yaitu untuk menyangga dan memenuhi kebutuhan-kebutuhan kehidupan biologis, sosio kultural dan politik baik sebagai individu maupun sebagai anggota masyarakat tempatnya bergabung (Khadiyanto, 2005).

Penataan ruang dalam Undang-Undang Nomor 26 tahun 2007 Pasal 1 ayat 5 bahwa suatu sistem proses perencanaan tata ruang, pemanfaatan ruang, dan pengendalian pemanfaatan ruang. Penataan ruang didasarkan karakteristik daya dukungnya serta didukung oleh teknologi yang sesuai akan meningkatkan keserasian, keselarasan, dan keseimbangan aspek politik, ekonomi, sosial budaya, pertahanan keamanan dan kelembagaan yang berarti meningkatkan kualitas tata ruang.

Kaitannya dengan tujuan tersebut, maka Rustiadi (2011) menyatakan tiga hal yang membuat unsur fisik menjadi peran penting dan penataan ruang. Pertama, efisiensi dan produktivitas dapat dipenuhi dengan adanya alokasi sumberdaya fisik wilayah dilakukan secara tepat sehingga peruntukan berbagai kawasan dapat sesuai dengan kemampuan dan kesesuaiannya. Kedua, unsur fisik dapat memenuhi tujuan keadilan dan keberimbangan hanya jika alokasi sumber daya fisik dapat bermanfaat bagi wilayah yang bersangkutan dan memberikan dampak positif bagi wilayah di sekitarnya. Ketiga, tujuan untuk keberlanjutan, hanya mungkin dicapai bila alokasi sumber daya fisik wilayah dilakukan dengan cara bijaksana sesuai dengan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan. Oleh karena itu, unsur fisik penataan ruang harus diperlakukan sesuai dengan daya dukung, daya tampung dan potensi wilayah.

#### **1.6. Pemodelan Hidrologi (*GenRiver*)**

Pendugaan neraca air pada skala DAS dilakukan dengan menggunakan model GenRiver adalah suatu model aliran sungai dan penggunaan lahan. GenRiver merupakan model yang didasarkan pada proses hidrologis dalam suatu bentang lahan, baik itu DAS maupun sub-DAS. Model ini dapat digunakan pada

kondisi dimana data hidrologi yang tersedia relatif sedikit. Menggunakan model ini kita dapat melakukan simulasi aliran sungai harian pada berbagai skala, seperti plot, sub DAS maupun DAS. Pengaruh perubahan lahan terhadap aliran sungai harian juga dapat disimulasikan dengan baik oleh model ini (Lusiana *et al.*, 2008).

Model Aliran Sungai (*GenRiver*) merupakan model yang dikembangkan berdasarkan proses hidrologi (*process based model*). Simulasi model *GenRiver* menggunakan Stella sebagai *software* yang dihubungkan dengan *file microsoft excel*. Input utama dari model ini adalah curah hujan, tingkat penutupan lahan dan sifat fisik tanah dengan keluaran utama berupa aliran sungai dan neraca air untuk skala DAS bagian utama dari *GenRiver* meliputi neraca air pada skala plot (*patch level water balance*) berdasarkan curah hujan dan modifikasi sifat fisik tanah dan penutupan lahan. Plot – plot ini memiliki kontribusi terhadap aliran sungai melalui aliran permukaan pada saat terjadinya hujan (*surface quick flow*), aliran air dalam tanah yang terjadi setelah hujan (*soil quick flow*) dan aliran dasar (*base flow*) yang berasal dari pelepasan air tanah secara bertahap menuju sungai (*gradual release of groundwater*) (Van Noordwijk *et al.*, 2011).

### 1.7. Kriteria dan Indikator Fungsi Hidrologi

Fungsi DAS merupakan fungsi gabungan yang dilakukan oleh seluruh faktor yang ada pada DAS tersebut, yaitu vegetasi, bentuk wilayah (topografi), tanah, air, dan manusia. Aktivitas dalam DAS yang menyebabkan perubahan ekosistem, misalnya perubahan tata guna lahan, khususnya di daerah hulu dapat memberikan dampak pada daerah hilir berupa perubahan fluktuasi debit air dan kandungan sedimen serta materi lainnya (Widyaningsih, 2008).

Fungsi hidrologis DAS (Daerah Aliran Sungai) merupakan peranan daerah tangkapan merespon curah hujan yang jatuh dan menjadi limpasan permukaan. Kategori DAS termasuk klasifikasi baik apabila dapat meredam lonjakan fluktuasi limpasan permukaan akibat turunnya hujan, menstabilkan besarnya debit serta memperpanjang ketersediaan limpasan permukaan di musim kering.

Kriteria dan indikator kuantitatif yang ditetapkan berdasarkan pemahaman kuantitatif hujan yang terbagi menjadi evapotranspirasi aliran sungai dan perubahan penutupan serta pola penggunaan lahan sesuai dengan karakteristik

lokal (Tabel 2). Fluktuasi debit sungai dan curah hujan dijadikan parameter utama untuk menilai indikator penyangga (*buffering indicator*) akibat alih fungsi lahan. Indikator penyangga (*buffering indicator*) cenderung berkorelasi negatif dengan total debit sungai (Farida, 2004).



Tabel 2. Kriteria dan indikator fungsi hidrologis daerah aliran sungai dan relevansinya bagi multi-pihak di daerah hilir (Van Noordwijk, *et al.*, 2004).

Kriteria	Indikator	Indikator Kualitatif	Karakteristik Alami	Relevansi
Transmisi air	Hasil air per curah hujan tahunan (TWY)	$TWY = \frac{Q}{A \times P}$ Q = debit sungai tahunan A = luas DAS P = Curah hujan tahunan	Curah hujan	Semua pengguna air terutama masyarakat di daerah hilir
Penyangga kejadian puncak hujan	Kejadian banjir relatif terhadap keadian hujan (BI)	$BI = 1 - \frac{Q_{obs-avg}}{A \times P_{obs-avg}}$	Bentuk lahan, geomorfologi	Masyarakat yang tinggal di sepanjang bantaran sungai dan daerah banjir
	BI ( <i>Buffering indicator</i> atau indikator penyangga) setelah disesuaikan dengan debit sungai relatif (RBI atau <i>relative buffering indicator</i> )	$RBI = 1 - \left( \frac{Q_{mean}}{P_{mean}} \times \frac{Q_{obs-avg}}{P_{obs-avg}} \right)$		
	Buffering peak event (BPE)	$BPE = 1 - \frac{\max(\text{daily } Q - Q \text{ mean})}{A \times \max(\text{daily } P - P \text{ mean})}$		
	Aliran air sungai yang berasal dari <i>surface quick flow (run off)</i>	Hasil keluaran langsung dari model GenRiver		
	Aliran air sungai yang berasal dari <i>soil quick flow</i>	Hasil keluaran langsung dari model GenRiver		
Pelepasan air secara bertahap	Ketersediaan air selama musim kemarau: debit bulanan yang terendah relatif terhadap rata-rata curah hujan bulanan		Jenis tanah	Masyarakat yang tidak memiliki sistem penyimpanan air untuk ketersediaan air pada musim kemarau ( <i>'water reservoir'</i> : misalnya danau, waduk, embung atau tendon air)
	Aliran sungai yang berasal dari <i>slow flow</i> (tiba di sungai > 1 hari setelah kejadian hujan)	Hasil keluaran langsung dari model GenRiver		

Catatan:  $Q \text{ (mm.hari}^{-1}\text{)} = \{[(m^3.det^{-1}) \times 24 \text{ jam} \times 3600 \text{ det.jam}^{-1}] / [A \text{ (km}^2\text{)} \times 10^6 \text{ m}^2.\text{km}^{-2}]\} \times 10^3 \text{ (mm..m}^{-1}\text{)}$

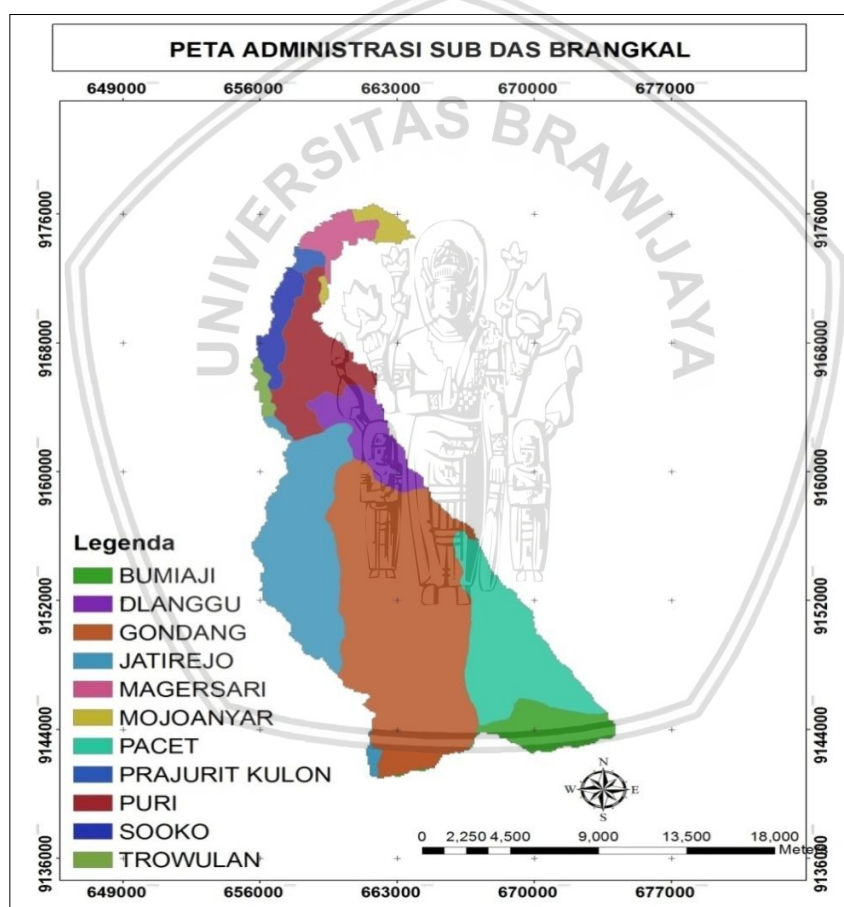




### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian yaitu Oktober 2015-September 2016. Lokasi penelitian meliputi wilayah DAS Brangkal terletak di Kabupaten Mojokerto yang meliputi 11 kecamatan (Gambar 1) di DAS bagian hulu maupun hilir. Secara geografi Sub DAS Brangkal terletak pada  $112^{\circ} 24'25''$  -  $112^{\circ} 34'53''$  Bujur Timur dan  $07^{\circ} 35'35''$  -  $07^{\circ}46'20''$  Lintang Selatan.



Gambar 1. Peta Administrasi

#### 3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa perangkat lunak yaitu, ArcGIS 9.3, ENVI 5.0, Microsoft Excel 2007, STELLA versi 7.03 dan *GenRiver* versi 7. Alat dan bahan yang digunakan selama penelitian disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Alat dan bahan yang digunakan selama penelitian

Kegiatan	Alat	Bahan	Sumber
Pengumpulan Data	Ms. Excel	Data hidrologi (debit harian)	BBWS
		Data iklim (curah hujan harian)	BMKG Karangploso
		Peta tata ruang Kabupaten Mojokerto	Bappeda Kabupaten Mojokerto dan Kota Mojokerto
Analisis Spasial	<i>Software</i>		
	<i>Arcgis</i>		
	ENVI	Citra Landsat 8 tahun 2016	USGS
		Peta kemampuan Lahan	Overlay
		Peta batas DAS	Archydro
		Peta SRTM Pulau Jawa	USGS
		Peta jenis tanah	Landsystem
Pemodelan GenRiver	Komputer	Peta rawan banjir	Overlay
			BBWS
		Data hidrologi	
			BMKG
		<i>Stella 9</i>	Karangploso
		<i>Genriver</i>	Archydro
		2.0	
		Data DAS	
		Data jenis tanah	Landsystem
		Data tutupan lahan	USGS
Analisis data	Excel	Data hasil skenario	

### 3.3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan Model *Generic River Flow* (GenRiver) merupakan suatu model sederhana yang mensimulasikan aliran sungai pada suatu DAS. GenRiver telah diaplikasikan pada berbagai kondisi DAS baik di Indonesia maupun di luar Indonesia dengan luasan antara 6,3 – 9,861 km<sup>2</sup> (Lusiana *et al.* ,2008a;

Lusiana *et al.*, 2008b; Khasanah *et al.*, 2010; Nugroho 2010; Van Noordwijk *et al.*, 2011).

### 3.3.1. Parameterisasi Model

#### a. Pengumpulan Data

Ada tiga jenis data yang digunakan dalam model GenRiver pada penelitian ini, yaitu data iklim, data hidrologi dan data spasial. Data iklim dan data spasial digunakan sebagai masukan model. Sedangkan data hidrologi digunakan untuk proses kalibrasi dan validasi model.

#### b. Analisis Data Spasial

Analisis data spasial dilakukan untuk mempersiapkan masukan model GenRiver yang terkait dengan input spasial. Analisis data spasial pada penelitian ini terbagi ke dalam 3 kategori, yaitu:

- a) Analisis data topografi untuk membangun karakteristik DAS
- b) Analisis penggunaan lahan sesuai dengan rencana tata ruang wilayah Kabupaten Mojokerto, kemampuan lahan, dan penggunaan lahan tahun 2016.
- c) Analisis daerah rawan banjir di Sub DAS Brangkal menggunakan metode skoring. Parameter yang digunakan adalah lereng, zona *buffer* sungai, tekstur tanah, bentuk lahan, penggunaan lahan dan curah hujan. Masing-masing parameter tersebut diberi skor dan pembobotan.

##### 1) Skor

Skoring sebagai pemberian skor terhadap masing-masing kelas dalam tiap parameter. Untuk pemberian skor ini berdasarkan pada pengaruh kelas terhadap banjir (Lampiran 7). Semakin tinggi tiap parameter yang berpengaruh terhadap banjir, maka skor yang diberikan semakin tinggi juga.

##### 2) Pembobotan

Pembobotan merupakan pemberian bobot terhadap masing-masing parameter yang berpengaruh terhadap banjir berdasarkan tingkat pengaruh terhadap kejadian banjir. Makin besar pengaruh parameter tersebut, maka bobotnya juga akan semakin tinggi (Tabel 4).

Tabel 4. Bobot parameter penyebab banjir

Parameter	Bobot
Kemiringan lahan	0,25
Debit	0,25
Curah hujan	0,25
Tekstur	0,10
Penggunaan lahan	0,10
Buffer sungai	0,05

Sumber : Primayuda (2006)

## 3) Analisis tingkat kerawanan banjir

Analisis ini merupakan penentuan nilai kerawanan banjir. Nilai kerawanan suatu daerah terhadap banjir ditentukan dari total penjumlahan skor seluruh parameter yang berpengaruh terhadap banjir. Nilai kerawanan ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$X = \sum_{i=1}^n (W_i \times X_i)$$

Keterangan:

K = Nilai kerawanan

Wi = Bobot untuk parameter ke-i

Xi = Skor kelas pada parameter ke-i

Menurut Kingma (1991) untuk menentukan lebar interval masing-masing kelas dilakukan dengan membagi sama banyak nilai-nilai yang didapat dengan jumlah interval kelas yang ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$i = R/n$$

Keterangan:

i = Lebar interval

R = Selisih skor maksimum dan skor minimum

n = Jumlah kelas kerawanan banjir

Daerah yang sangat rawan terhadap banjir akan mempunyai total nilai yang tinggi dan sebaliknya daerah yang tidak rawan terhadap banjir akan mempunyai total nilai yang rendah.

Tabel 5. Nilai tingkat kerawanan banjir

Tingkat Kerawanan Banjir	Total Nilai
Sangat rawan	67,5 – 90
Rawan	45 – 67,5
Agak rawan	22,5 – 44
Tidak rawan	<22,5

Sumber : Primayuda (2006)

### 3.3.2. Kalibrasi dan Validasi Model

Tujuan dari kalibrasi adalah untuk menentukan nilai sekelompok parameter, sehingga hasil simulasi debit oleh model mendekati nilai debit yang sebenarnya (Kobold, 2008). Sedangkan validasi dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan model dalam mendekati kondisi DAS yang sebenarnya.

### 3.3.3. Skenario Perubahan Tutupan Lahan

Penelitian yang akan dilakukan ini menganalisis dampak dari perubahan tutupan lahan terhadap debit. Perubahan tutupan lahan sebagai acuan untuk mengetahui dampak terhadap kondisi hidrologi. Kondisi hidrologi yang dimaksud disini adalah debit. Pada penelitian ini mempunyai 3 skenario yang akan disimulasikan. Skenario tersebut adalah sebagai berikut:

#### a. Skenario 1

Skenario ini mensimulasikan tata guna lahan sesuai dengan rencana tata ruang wilayah (RTRW) tahun 2012-2032 Kabupaten Mojokerto. Penggunaan lahan yang ditetapkan atau dirancang dan sesuai dengan tata ruang wilayah tersebut. Dengan tata ruang yang sesuai dengan karakteristik daerah tersebut, kemungkinan akan dapat mengurangi banjir yang terjadi di Sub DAS Brangkal.

Tabel 6. Luas penggunaan lahan (RTRW)

Penggunaan Lahan	Luas (ha)	Presentase
Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan	10193.37	37.94
Taman Hutan Raya	12215.77	45.47
Pemukiman Desa	99.39	0.37
Perkebunan	3.49	0.01
Sawah	427.99	1.59
Industri	155.01	0.58
Pemukiman Kota	2440.35	9.08
Hutan Produksi	1105.57	4.12
RTH Perkotaan	109.72	0.41
Sempadan Mata Air	113.06	0.42

## b. Skenario 2

Skenario ini mensimulasikan kondisi penggunaan lahan berdasarkan kelas kemampuan lahan. Perubahan yang dilakukan adalah penggunaan lahan pada kondisi saat ini dengan yang memiliki kelas kemampuan lahan. Perlakuan ini merupakan pembandingan terhadap perlakuan yang lain.

Tabel 7. Luas kemampuan lahan

Kelas Kemampuan	Luas (ha)
I	8552.9
II	261.7
III	129.0
IV	3143.9
V	2020.5
VI	1394.1
VII	2313.3
VIII	9047.9

## c. Skenario 3

Skenario ini mensimulasikan kondisi tata guna lahan tahun 2016. Perlakuan ini sebagai kontrol dan pembandingan terhadap perlakuan yang lain.

Tabel 8. Luas Penggunaan Lahan (2016)

Penggunaan Lahan	Luas (ha)	Presentase
Hutan	8644.7	32.18
Sawah	3430.3	12.77
Perkebunan	3530.4	13.14
Pemukiman	5657.7	21.06
Semak/ Belukar	2399.1	8.93
Tegalan/ Ladang	2182.7	8.13
Rumput/ Tanah Kosong	1018.7	3.79

### 3.3.4. Analisis Hubungan Penutupan Lahan dan Indikator Hidrologi

Skenario dari perubahan tutupan lahan yang telah ditentukan kemudian dilakukan *running* pada model GenRiver. Hasil dari *running* model GenRiver ini didapatkan hasil berupa debit simulasi. Debit simulasi ini dibandingkan antar skenario. Untuk melakukan penilaian ini membutuhkan analisis indikator hidrologi plot – plot ini memiliki kontribusi terhadap aliran sungai.

$$TWY = \frac{Q}{A \times P}$$

$$BI = 1 - \frac{Q_{obs-avg}}{A \times P_{obs-avg}}$$

$$RBI = 1 - \left( \frac{Q_{mean}}{P_{mean}} \times \frac{Q_{obs-avg}}{P_{obs-avg}} \right)$$

$$BPE = 1 - \frac{\max(\text{daily } Q - Q_{mean})}{\max(\text{daily } P - P_{mean})}$$

Keterangan:

Q = debit (m<sup>3</sup>/detik)

P = hujan (mm/jam)

A = luasan DAS (km<sup>2</sup>)

Q<sub>mean</sub> = debit rata-rata

P<sub>mean</sub> = hujan rata-rata

Q<sub>obs-avg</sub> = debit harian dikurangi debit rata-rata

P<sub>obs-avg</sub> = hujan harian dikurangi hujan rata-rata



## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Kondisi Biofisik

#### 4.1.1. Penggunaan Lahan Sub DAS Brangkal

Sebelum melakukan pendugaan debit, dilakukan analisis penggunaan lahan sebagai masukan data dalam pemodelan hidrologi. Penggunaan lahan ditentukan dari hasil klasifikasi citra LANDSAT pada tahun 2000, 2004, 2009 dan 2014. Klasifikasi tersebut menghasilkan penggunaan lahan meliputi hutan, sawah, perkebunan, pemukiman, semak/ belukar, tegalan, dan rumput/ tanah kosong.

Pada tabel tahun 2000 luasan penggunaan lahan hutan 29,66% dari atau sebesar 7968,4 ha. Tetapi pada tahun 2004 mengalami penurunan sebesar 1,1% menjadi 28,5% luasan atau 7660,6 ha. Pada tahun 2009 mengalami kenaikan sebesar 7.4% menjadi 9639.5 ha. Hal ini disebabkan karena tahun 2004 terjadi banjir bandang di Sub DAS Brangkal. Sehingga masyarakat melakukan reboisasi pada daerah hulu untuk mengurangi dampak saat curah hujan yang tinggi. Seperti yang diketahui banjir bandang ini disebabkan oleh curah hujan yang tinggi. Tahun 2014 luasan hutan mengalami penurunan. Untuk luasan penggunaan lahan pemukiman mengalami kenaikan dari tahun 2000 sampai 2014.

Pada tahun 2000 luasan penggunaan lahan pemukiman sebesar 11,2% dari total luasan menjadi 13.9% di tahun 2004. Untuk tahun 2009 juga mengalami peningkatan luasan sebesar 1,3%. Sedangkan tahun 2014 peningkatannya sebesar 4,4%. Peningkatan luas penggunaan lahan pemukiman ini dikarenakan kebutuhan masyarakat tentang pemukiman meningkat. Persentase ini didapat dari membandingkan luasan tahun pertama dengan luasan terakhir. Sehingga didapat persentase perubahan dalam kurun waktu tertentu.

Luasan penggunaan lahan untuk sawah mengalami naik turun. Seperti yang diketahui bahwa aliran sungai Sub DAS Brangkal ini berawal dari gunung Anjasmoro mengalir ke arah timur melewati kawasan perkampungan dan pertanian yang subur. Tata guna lahan pada sempadan Sub DAS Brangkal bagian hulu sebagian besar lahan persawahan, tegalan dan sebagian kecil pemukiman. Sedangkan untuk tata guna lahan pada bagian hilir terutama pada ruas yang masuk ke kawasan kota terdiri atas tanggul banjir dan sebagian besar merupakan pemukiman penduduk yang berhimpitan dengan tanggul serta jalan raya.

Tabel 9. Perubahan Penggunaan Lahan Sub DAS Brangkal

No	Penggunaan Lahan	Luas (ha)			
		2000	2004	2009	2014
1	Hutan	7968.44	7660.55	9639.45	8723.06
2	Sawah	7353.22	6012.98	2918.80	3319.06
3	Perkebunan	3400.88	4578.14	4091.77	3542.73
4	Pemukiman	3005.44	3733.28	4095.51	5284.89
5	Semak/ Belukar	1289.99	1127.31	2888.62	2394.39
6	Tegalan/ Ladang	3397.82	3321.31	2299.13	2110.87
7	Rumput/ Tanah Kosong	447.91	430.14	930.43	1488.72
TOTAL		26863.71	26863.71	26863.71	26863.71

#### 4.1.2. Jenis Tanah

Sub DAS Brangkal memiliki jenis tanah berasal dari bahan induk yang sama yaitu abu vulkanik dari beberapa pegunungan yakni Pegunungan Anjasmoro, Welirang, dan Arjuna (Brangkal Project, 2005). Sub DAS Brangkal mempunyai jenis tanah dengan ordo Entisol, Inceptisol, dan Andisol (Tabel 9 dan Gambar 2).

Tabel 9. Jenis tanah

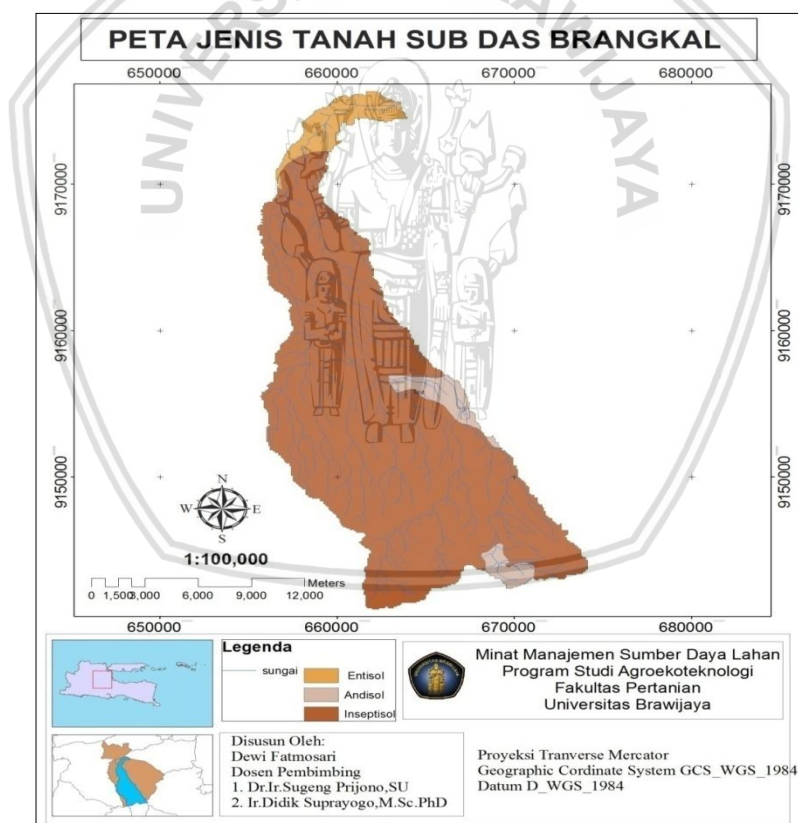
No	Jenis Tanah	Luas (ha)	Persentase
1	Entisol	1334.08	4.97
2	Inceptisol	24255.60	90.29
3	Andisol	1274.15	4.74
Total		26863.83	100

Ordo tanah Entisol dicirikan dengan mempunyai bahan mineral yang horizon pedogenik belum terbentuk dengan nyata. Sehingga dapat dikatakan sebagai tanah yang berkembang. Kadar lempung dan bahan organik rendah, sehingga daya menahan airnya rendah, struktur remah sampai berbutir dan sangat sarang, hal ini menyebabkan tanah tersebut mudah melewatkan air dan air mudah hilang karena perkolasi (Jamilah, 2003).

Ordo tanah Inceptisol merupakan ordo tanah yang belum berkembang lanjut dengan ciri-ciri bersolum tebal antara 1.5-10 meter di atas bahan induk, bereaksi masam dengan pH 4.5 - 6.5, bila mengalami perkembangan lebih lanjut pH naik menjadi kurang dari 5,0 dan kejenuhan basa dari rendah sampai sedang. Tekstur seluruh solum ini umumnya adalah liat, strukturnya remah dan konsistensi adalah gembur. Secara umum, kesuburan dan sifat kimia Inceptisols relatif rendah, akan

tetapi masih dapat diupayakan untuk ditingkatkan dengan penanganan dan teknologi yang tepat (Sudirja, 2007)

Ordo tanah Andisol adalah tanah yang memiliki bahan andik dengan ketebalan sebesar 60% atau lebih bila : 1) terdapat dalam 60 cm dari permukaan mineral atau pada permukaan bahan organik dengan sifat andik yang lebih dangkal, jika tidak terdapat kontak densik, litik, atau paralitik, horizon duripan atau horizon petrokalsik pada kedalaman tersebut, atau 2) diantara permukaan tanah mineral atau lapisan organik dengan sifat andik, yang lebih dangkal dan kontak densik, litik, atau paralitik, horizon duripan atau horizon petrokalsik. Ciri morfologinya, horizon Al yang tebal berwarna kelam, coklat sampai hitam, sangat porous, sangat gembur, tak liat, tak lekat, struktur remah atau granular, terasa berminyak karena mengandung bahan organik 8-30% dengan pH 4,5-6. (Soil Survey Staff, 2010).



Gambar 1. Peta Jenis Tanah

#### 4.1.3. Geologi

Secara umum tanah berkembang di DAS Brangkal dari bahan induk berupa Gunung Api Kuarter Muda di bagian atas dan bahan Alluvium di bagian dataran. Secara detil bagian barat hanya dipengaruhi oleh hasil gunung api anjasmoro,

sedangkan di bagian timur (DAS Pikatan dan Kromong) dipengaruhi oleh dua gunung, yaitu Gunung Anjasmoro di bagian barat dan gunung Arjuna-Welirang di bagian timur.

Berdasarkan peta geologi lembar Kediri, Jawa Timur (Brangkal Project, 2005), kawasan DAS Brangkal tersusun atas tujuh formasi geologi. Di bagian timur (lereng gunung welirang) terdiri dari formasi geologi *AI4*, *WI2*, *Wapl*, *Wap2* dan *L11*. Formasi geologi di bagian barat (lereng Gunung Anjasmoro) adalah *AnV1*, sedangkan di bagian utara (datar/hilir) termasuk formasi geologi *AnV2*.

Kelompok *AI4*, *WI2*, *Wapl*, *Wap2* dan *L11* termasuk dalam formasi geologi *Qvaw* (batuan Gunung Api Arjuna-Welirang) yang terdiri dari breksi gunung api, lava, breksi tufan dan tuf. Sementara *AnV2/Qv (n)* atau batuan Gunung api Kuarter Atas Penanggungan terdiri dari breksi gunung api, tuf breksi, lava dan tuf. Batuan ini diperkirakan berupa Pleistosen-holosen dan tersebar disekitar Gunung Panderman, sekitar Desa Delangu dan Sungai Bangsal meluas kearah timur. Sedangkan *AnVI/Qpva* atau batuan Gunung api Anjasmara muda yang terdiri dari breksi gunung api, tuf, lava dan lahar. Batuan gunung api ini diperkirakan berumur Plistosen tengah.

#### 4.1.4. Hidrologi

Sub DAS Brangkal seluas 26863.71 ha dibedakan menjadi 2 daerah aliran sungai, yaitu bagian atas (*upper watershed*) dan bagian bawah (*lower part*). Bagian bawah Sub DAS Brangkal didominasi oleh tanaman padi sawah baik yang beririgasi maupun sawah tadah hujan. Sedangkan bagian atas sub DAS Brangkal didominasi oleh tanaman hutan atau perkebunan (hutan produksi). Pada bagian hulu Sub DAS Brangkal terdapat **Sub-sub DAS Kromong, Sub-sub DAS Pikatan hulu, Sub-sub DAS Pikatan hilir, Sub-sub DAS Landean dan Sub-sub DAS Jurang Jetot. Sedangkan pada Sub DAS Brangkal hilir bertemu dengan saluran Ring Ngotok Kanal menjelang masuk ke DAS Brantas (Laporan SID perbaikan Sungai brangkal BBWS Brantas, 2015).**

Debit sungai Sub DAS Brangkal memiliki debit yang fluktuatif. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi morfometri DAS dan intensitas seperti yang diketahui pada musim penghujan yang menyebabkan debit tinggi dan sebaliknya untuk musim kemarau. Hal ini yang menyebabkan pada musim penghujan akan terjadi

banjir dan pada musim kemarau terjadi kekeringan. Besarnya debit tertinggi, terkecil dan debit rata-rata seperti pada Tabel 10 berikut ini :

Tabel 10. Debit Sub DAS Brangkal

Bulan	Debit tertinggi (m <sup>3</sup> /detik)	Debit terendah (m <sup>3</sup> /detik)	Debit rata-rata (m <sup>3</sup> /detik)
Januari	3,664	1,662	2,461
Februari	4,431	4,195	4,352
Maret	4,303	4,205	3,991
April	3,296	2,547	3,009
Mei	2,914	1,532	2,236
Juni	1,334	1,005	1,185
Juli	1,043	0,940	0,987
Agustus	0,928	0,844	0,887
September	0,858	0,652	0,804
Oktober	9,962	0,790	4,086
November	6,892	1,010	3,064
Desember	5,566	2,481	4,259

Sumber : Cabang Dinas Pengairan Kabupaten Mojokerto

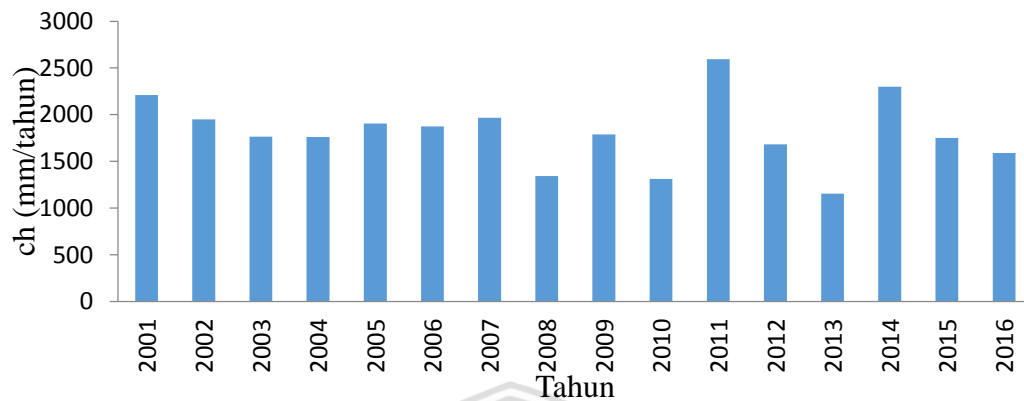
#### 4.1.5. Curah Hujan

Hujan merupakan salah satu penyebab banjir. Umumnya pola curah hujan dipengaruhi oleh letak geografis. Curah hujan tinggi di suatu wilayah dipengaruhi oleh faktor antara lain, tinggi rendahnya tempat, angin dan lain sebagainya. Secara umum Sub DAS Brangkal bagian hulu mempunyai curah hujan yang tinggi. Hal ini dapat diketahui dari bagian hulu Sub DAS Brangkal data curah hujan di stasiun Cakarayam, Pugeran dan Pacet dalam kurun waktu tahun 1990-2012 yang mempunyai rata –rata curah hujan sebesar 2895 mm/th.

Pemilihan stasiun yang digunakan ini berdasarkan atas lokasi stasiun curah hujan tersebut dan ketersediaan data dalam periode yang cukup (15 tahun) dan juga berdasarkan curah hujan tahunan yang sesuai dengan daerah di DAS setempat.. Seperti yang diketahui terjadi bulan basah (CH > 200 mm) terjadi pada bulan Nopember sampai dengan bulan April. Sedangkan untuk bulan kering (CH <100 mm) terjadi pada bulan Mei sampai dengan bulan Oktober. Berdasarkan Schmidt



dan Ferguson, iklim di wilayah studi termasuk tropik basah (Tipe B) dengan curah hujan >100 mm/tahun.

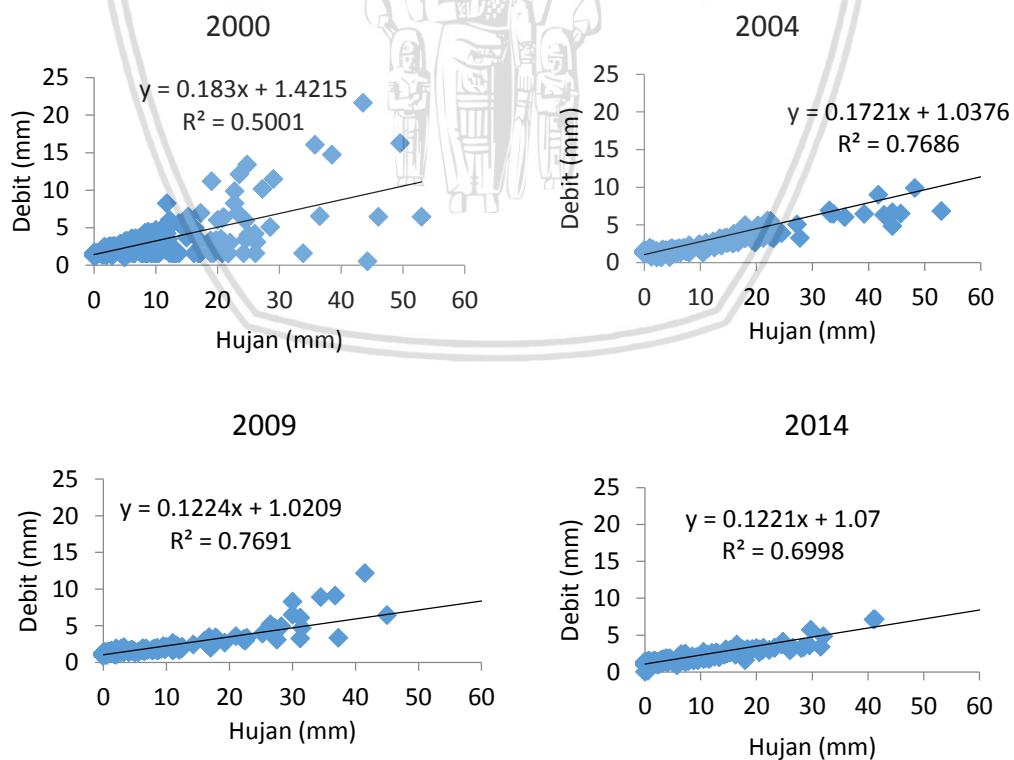


Gambar 3. Total curah hujan tahunan

## 4.2. Hubungan Sifat Hujan dan Penggunaan Lahan dengan Indikator Hidrologi DAS

### 4.2.1. Hubungan Curah Hujan dan Debit

Hujan yang jatuh di suatu DAS akan berubah menjadi aliran sungai. Dengan demikian ada hubungan antar hujan dan debit aliran. Hal ini bergantung dengan karakteristik DAS tersebut. Apabila nilai intensitas hujan tinggi maka debit aliran sungai juga tinggi.



Gambar 4. Hubungan curah hujan dan debi

Pada Gambar 4 tahun 2000 nilai  $R^2$  sebesar 0,5 dan nilai korelasinya 0,7 (Lampiran 8). Untuk nilai  $R^2$  tahun 2004 sebesar 0,77 dan korelasinya 0,8. Tahun 2009 mempunyai nilai  $R^2$  0,76 dan nilai korelasinya sebesar 0,8. Tahun 2014 didapat nilai  $R^2$  0,68 dan untuk korelasinya ( $r$ ) sebesar 0,8. Dari keempat tahun pengamatan dapat diketahui bahwa hubungan antara curah hujan dan debit mempunyai nilai  $r$  (korelasi) yang lebih dari 0,5. Hal ini dapat disimpulkan hubungan antara curah hujan dan debit sangat kuat sesuai dengan pernyataan Wuri (2011) pergerakan limpasan secara umum masih mengikuti pergerakan sebaran hujan. Pada saat curah hujan meningkat tajam, limpasan juga meningkat terutama jika hujan berlangsung secara terus-menerus.

Hujan merupakan sumber dari semua air yang mengalir di DAS. Baik air yang berada di tampungan atas ataupun di bawah permukaan tanah. Nilai dan variasi debit dipengaruhi oleh adanya jumlah, intensitas dan distribusi hujan. Apabila dalam suatu DAS nilai debit tidak ada. Maka nilai jumlah hujan dapat di gunakan untuk memperkirakan debit aliran DAS (Bambang, 2008).

#### 4.2.2. Hubungan Penggunaan Lahan dengan Indikator Hidrologi

Kondisi biofisik suatu daerah aliran sungai memberi pengaruh terhadap debit aliran sungai. Salah satu komponen biofisik DAS penggunaan lahan dimana hal tersebut berkaitan dengan fungsi hidrologi dari lahan tersebut. Terjadinya perubahan penggunaan lahan berakibat pada turunnya penutupan lahan yang berkaitan dengan daya serap tanah terhadap curah hujan yang turun. Kondisi kesehatan suatu daerah aliran sungai dapat dilihat dari indikator hidrologi. Indikator hidrologi merupakan nilai yang menggambarkan hubungan curah hujan dengan penutupan lahan.

##### 1. *Total Water Yield* (TWY)

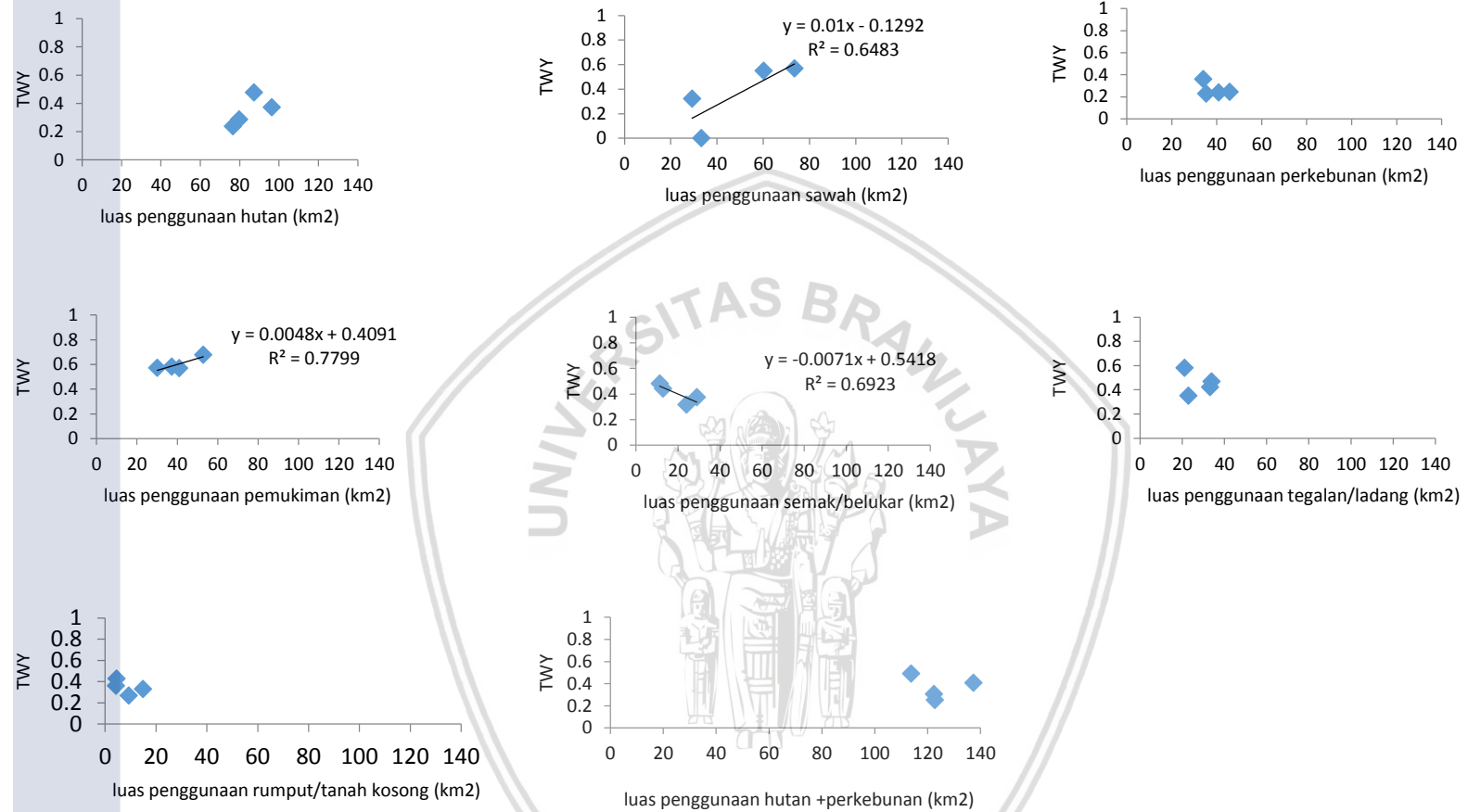
*Total Water Yield* menggambarkan total air yang dihasilkan pada suatu luasan daerah aliran sungai perjumlah hujan. Hubungan nilai TWY dengan penggunaan lahan dapat dilihat pada Gambar 5. Gambar 5 tersebut dapat dilihat nilai  $R^2$  dari nilai *Total Water Yield* (TWY) terhadap masing-masing penggunaan lahan. Tingkat sensitivitas nilai dari TWY akan berubah seiring dengan perubahan luasan penggunaan lahan. Nilai TWY dipengaruhi dari luas penggunaan lahan. Penggunaan lahan yang mempengaruhi dari hasil penelitian ini adalah pemukiman dan sawah. Semakin luas penggunaan lahan pemukiman dan sawah, maka nilai



TWY yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Hal ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan lahan pemukiman dan sawah berbanding lurus dengan nilai TWY.

Air hujan yang jatuh pada lahan yang demikian hampir seluruhnya menjadi aliran dan masuk ke saluran, selokan pembuangan dan akhirnya masuk ke sungai sehingga secara cepat menambah tingginya atau besarnya aliran sungai. Air hujan yang jatuh pada atap-atap bangunan akan terkonsentrasi ke talang atau paralon yang langsung masuk ke saluran atau selokan drainase kemudian masuk ke sungai. Proses yang terjadi di penggunaan lahan pemukiman tersebut akan mempengaruhi hasil air (Pudjiharta, 2008)

Hutan dan perkebunan mempunyai nilai TWY rendah karena pengaruh dari vegetasi yang mampu menahan air sehingga total air yang masuk ke dalam sungai akan berkurang. Kegiatan tataguna lahan yang bersifat mengubah bentang lahan dalam suatu DAS seringkali dapat mempengaruhi hasil air (*wateryield*). Pada batas tertentu, kegiatan tersebut juga dapat mempengaruhi kondisi kualitas air. Perubahan dari satu jenis vegetasi hutan menjadi jenis vegetasi hutan lainnya, perladangan berpindah, atau perubahan tata guna lahan hutan menjadi areal pertanian atau padang rumput adalah contoh-contoh kegiatan yang sering dijumpai di negara berkembang. Terjadinya perubahan tata guna lahan dan jenis vegetasi tersebut dalam skala besar dan bersifat permanen dapat mempengaruhi besar-kecilnya hasil air (Asdak, 2007).



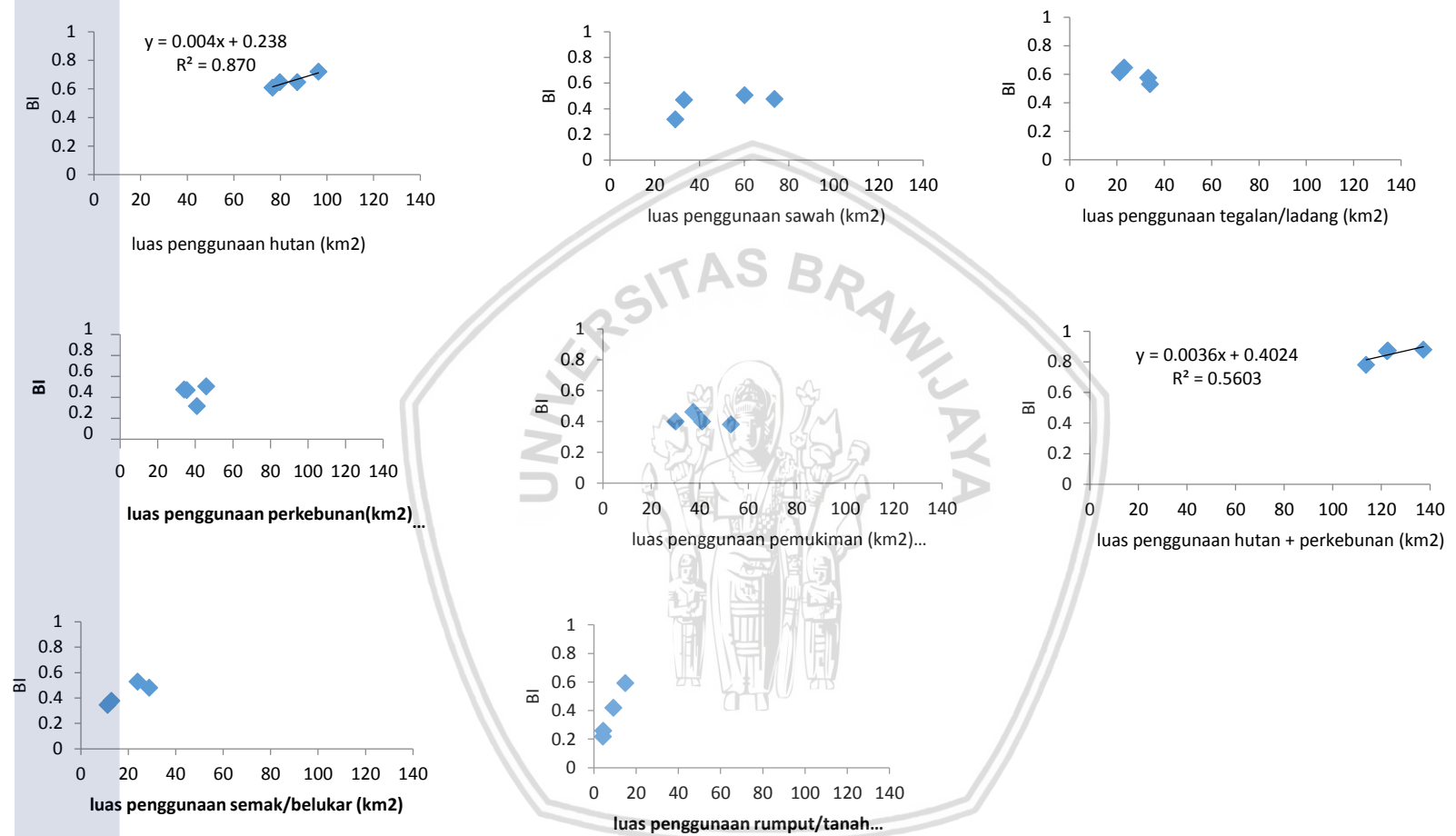
Gambar 5. Hubungan *Total Water Yield* (TWY) pada masing-masing penggunaan lahan (a) hutan, (b) sawah, (c) tegalan/ladang, (d) perkebunan, (e) pemukiman, (f) hutan + perkebunan, (g) semak/belukar dan (h) rumput/tanah kosong

## 2. *Buffering Indicator* (BI)

*Buffering Indicator* (BI) menggambarkan kemampuan dari suatu DAS dalam menyangga air hujan yang turun. Hubungan nilai BI dengan masing-masing penggunaan lahan. Gambar 6 menunjukkan hubungan luas masing-masing penggunaan lahan dengan nilai *Buffering Indicator* (BI), dimana tingkat nilai yang berbeda-beda. Nilai BI yang semakin besar menunjukkan bahwa DAS tersebut dalam menyangga hujan yang turun semakin baik. Jenis penggunaan lahan dan luas dari penggunaan lahan mempengaruhi dari nilai *Buffering Indicator* (BI).

Gambar 6 menunjukkan bahwa penggunaan lahan yang mempunyai nilai *Buffering Indicator* (BI) yang tinggi adalah hutan dan hutan + perkebunan. Hal ini disebabkan oleh kemampuan hutan dan perkebunan untuk intersepsi dan evapotranspirasi serta kemampuan untuk infiltrasi air hujan yang jatuh. Kemampuan intersepsi ini dipengaruhi oleh kondisi yang mempunyai vegetasi sehingga hujan yang turun tidak langsung mengenai permukaan tanah. Hal tersebut berkaitan dengan daya simpan hutan terhadap air hujan yang turun. Semakin banyak air yang dapat disimpan berarti air yang dapat dikeluarkan pada musim kemarau semakin besar. Hutan tidak menyimpan air dan tidak dapat menghasilkan air, tetapi memberikan peluang kepada spons untuk terisi kembali guna dialirkan kembali pada musim kemarau, akan tetapi hutan dapat meningkatkan laju infiltrasi air yang dapat menembus lapisan bawah permukaan (*subsoil*) yang kemudian menjadi mata air (Noordwijk *et al.*, 2004).

Adanya tanaman hutan yang luas dan kerapatan normal akan mempertinggi kemampuan hutan dalam mencegah (*interception*) air hujan oleh penambahan tajuk hutan, sehingga jumlah air hujan yang akan diterima oleh permukaan lahan berkurang, karena kenaikan pencegatan oleh tajuk. Kondisi ini akan memperkecil air hujan yang akan menjadi aliran dan hasil air akan menurun (Pudjiharta, 2008)



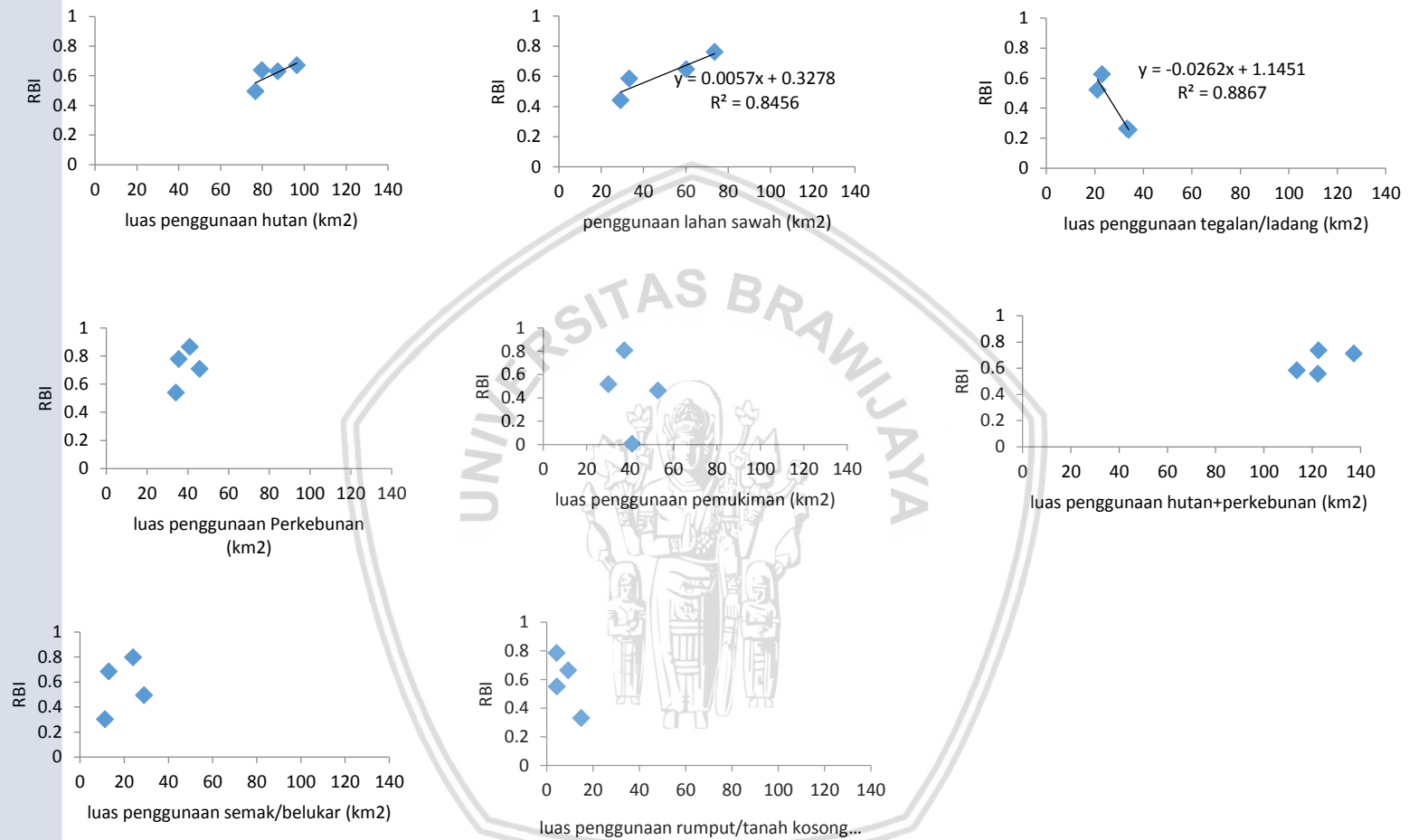
Gambar 6. Hubungan *Buffering Indicator* (BI) pada masing-masing penggunaan lahan (a) hutan, (b) sawah, (c) tegalan/ladang, (d) perkebunan, (e) pemukiman, (f) hutan + perkebunan, (g) semak/belukar dan (h) rumput/tanah kosong.

### 3. *Relative Buffering Indicator (RBI)*

*Relative Buffering Indicator (RBI)* merupakan suatu nilai yang menggambarkan hubungan antara kejadian puncak aliran sungai dengan puncak hujan relatif. Nilai RBI berkaitan dengan kondisi biofisik DAS, misalnya penggunaan lahan. Hubungan nilai RBI dengan masing-masing penggunaan lahan dapat dilihat pada Gambar 6. Gambar 6 memperlihatkan hubungan nilai RBI dengan tiap-tiap penggunaan lahan yang berbeda-beda yang menggambarkan seberapa besar penggunaan lahan mempengaruhi nilai RBI.

Penggunaan lahan yang sangat sensitif terhadap nilai RBI adalah penggunaan lahan sawah dan tegalan/ladang. Sedikit saja perubahan luasan sawah dan tegalan/ladang akan mempengaruhi kemampuan lahan untuk menyangga kejadian puncak hujan relatif sehingga mengakibatkan terjadi limpasan permukaan yang tinggi sebab dari adanya banjir. Kondisi fisik sawah dan tegalan/ladang banyak terdapat bangunan menyebabkan kemampuan infiltrasi pada lahan pemukiman kecil sehingga banyak air hujan yang tidak masuk ke dalam tanah. Semakin banyak limpasan air permukaan maka semakin besar air yang masuk ke sungai sehingga debit akan semakin besar. Debit yang besar dalam waktu singkat akibat hujan yang deras mengakibatkan banjir di daerah tertentu.

Penggunaan lahan sawah juga mempunyai hubungan yang signifikan dengan RBI karena sawah tidak terdapat pepohonan sehingga hujan yang turun akan langsung mengenai permukaan tanah. Berdasarkan penelitian Dewi (2007) penggunaan lahan sawah mempunyai infiltrasi lambat karena tekstur sawah dominan lempung, vegetasi yang berupa tanaman kecil (padi, palawija, rumput) aktivitas biologi yang relatif sedikit hanya berupa semut dan cacing tanah, kedalaman air tanah yang dangkal kurang dari 50 cm, kelembaban yang tinggi dan permeabilitas yang lambat sekitar 0-2 cm/jam.



Gambar 7 . Hubungan *Relative Buffering Indicator* (RBI) pada masing-masing penggunaan lahan (a) hutan, (b) sawah, (c) tegalan/ladang, (d) perkebunan , (e) pemukiman, (f) hutan + perkebunan, (g) semak/belukar dan (h) rumput/tanah kosong

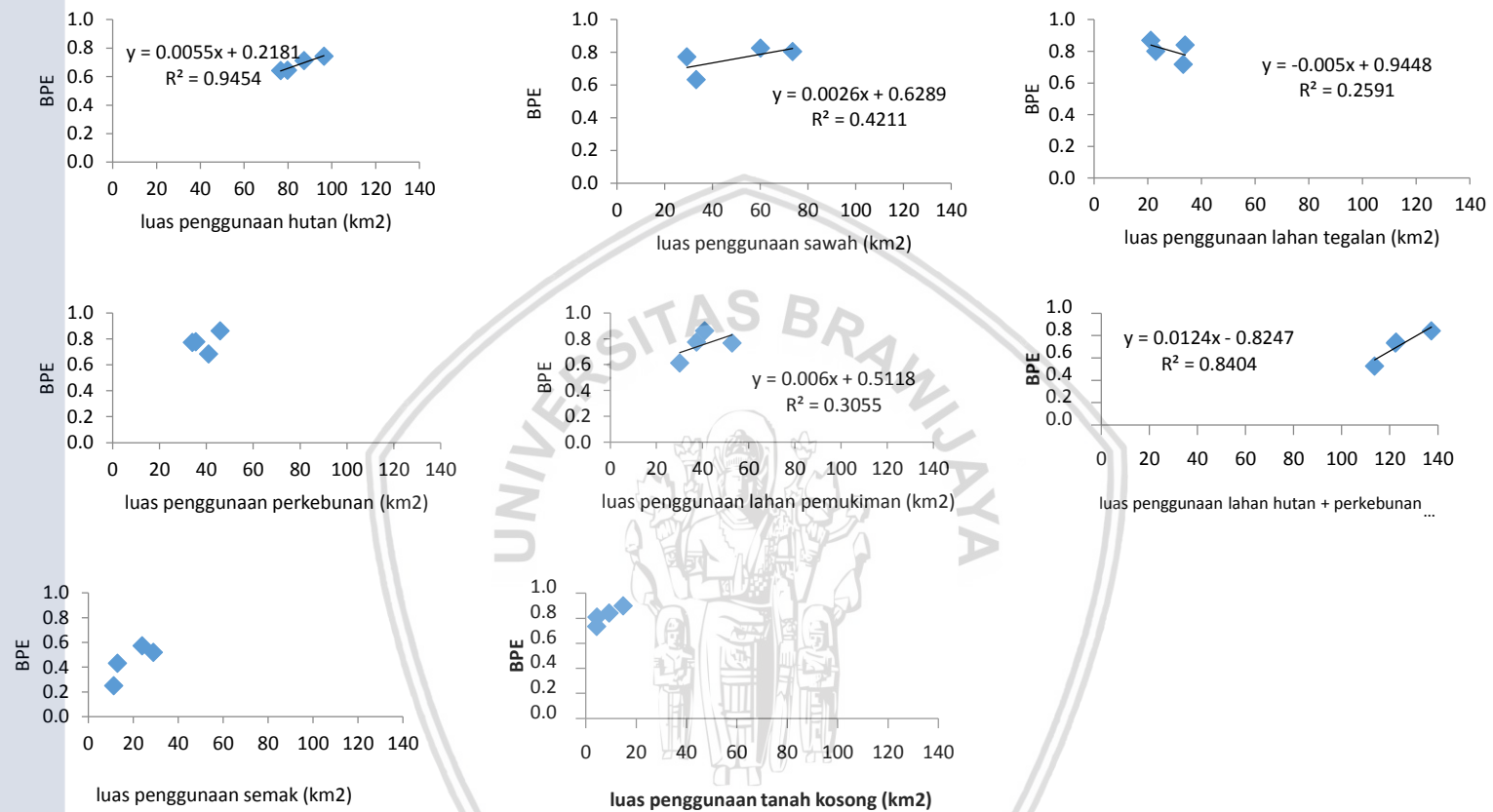
#### 4. *Buffering Peak Event* (BPE)

*Buffering Peak Event* (BPE) menggambarkan kemampuan daerah aliran sungai untuk menyangga kejadian puncak hujan tertinggi jika dikaitkan dengan kejadian banjir. Hubungan nilai BPE (*Buffering Peak Event*) dengan masing-masing penggunaan lahan dapat dilihat pada Gambar 8. Penurunan dan peningkatan luasan penggunaan lahan akan mempengaruhi nilai BPE.

Penggunaan lahan hutan dan hutan + perkebunan mempunyai pengaruh yang besar terhadap nilai BPE (*Buffering Peak Event*). Hal ini karena kondisi hutan yang dapat menahan air hujan semakin baik. Dimana air hujan akan disimpan saat musim penghujan dan dikeluarkan pada musim kemarau. Kemampuan hutan untuk menginfiltirasi air hujan yang berkaitan terhadap daya simpan hutan terhadap air hujan yang turun. Semakin banyak dari air hujan yang tersimpan saat musim kemarau maka air hujan yang dikeluarkan saat musim kemarau juga semakin banyak. Nilai BPE dipengaruhi oleh luasan penggunaan lahan hutan. Nilai BPE (*Buffering Peak Event*) akan tinggi jika penggunaan lahan hutan semakin luas dan kemampuan untuk menyangga puncak hujan semakin tinggi.

Hal ini sesuai dengan pernyataan Asdak (2007) bahwa keberadaan hutan dapat dipandang sebagai kegiatan pendukung dari usaha dalam menurunkan terjadinya puncak hujan dan musim kemarau. Jika keberadaan hutan tidak lagi dijaga dan semakin berkurang fungsi resapannya yang beralih fungsi menjadi lahan perkebunan, semak belukar dan ladang sehingga dari waktu ke waktu menjadi tidak mampu mencegah debit puncak atau banjir.



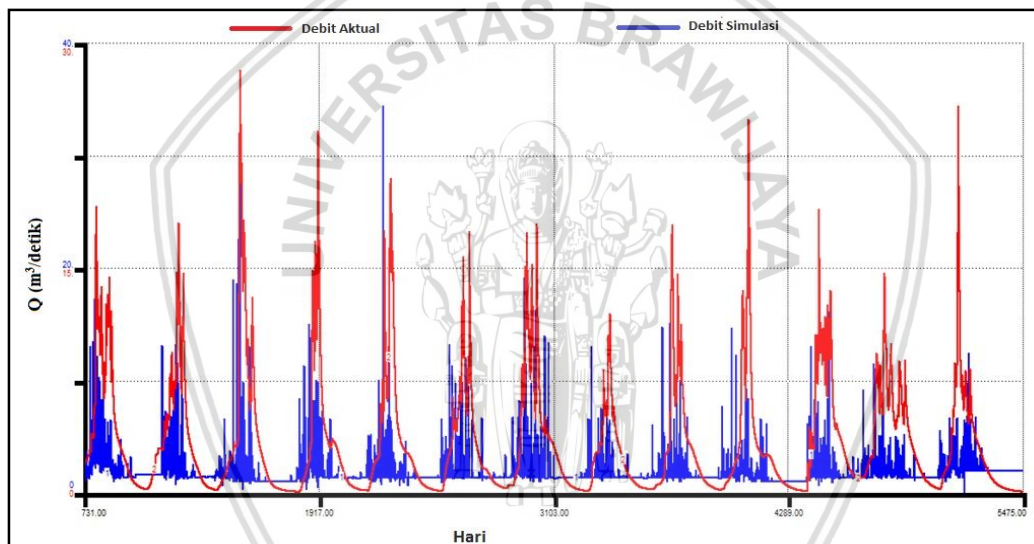


Gambar 8. Hubungan *Buffering Peak Event* (BPE) pada masing-masing penggunaan lahan (a) hutan, (b) sawah, (c) tegalan/ladang, (d) perkebunan, (e) pemukiman, (f) hutan+perkebunan, (g) semak/belukar dan (h) rumput/tanah kosong

### 4.3. Upaya Perbaikan Hidrologi DAS

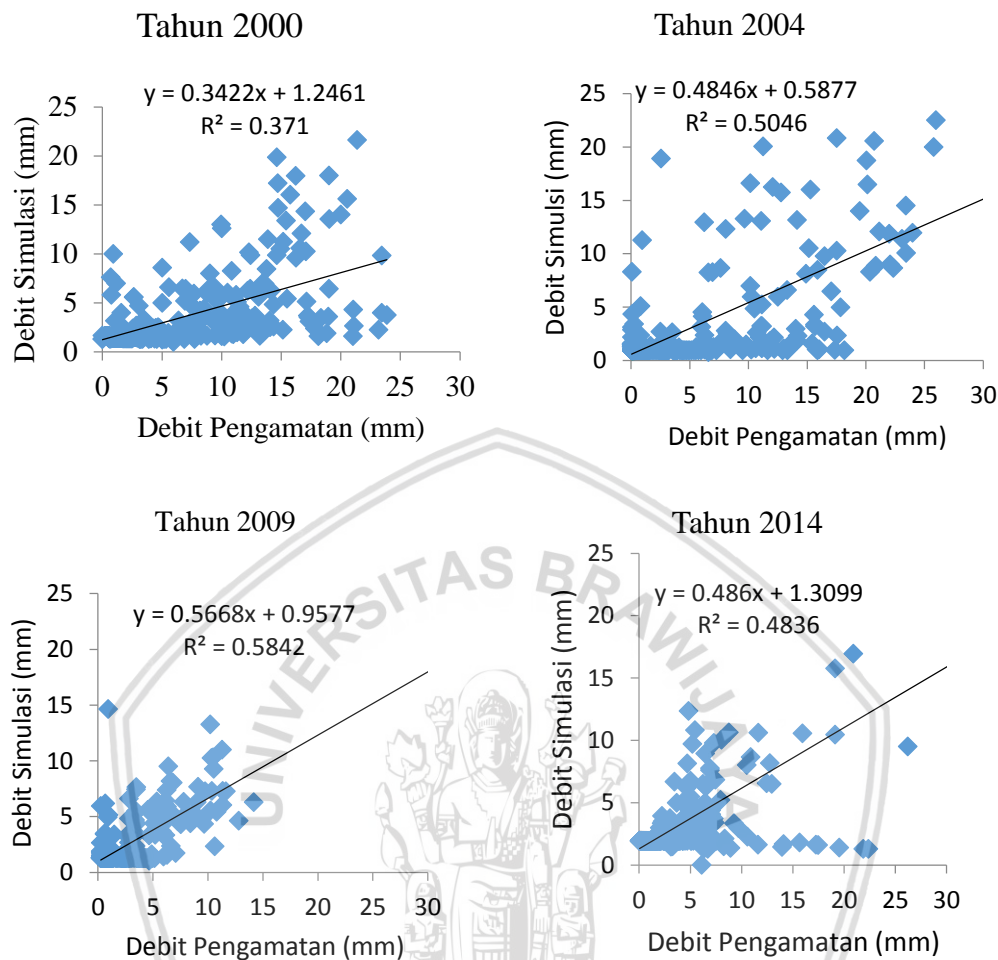
#### 4.3.1. Validasi Model

Hasil simulasi model adalah nilai debit simulasi. Nilai debit simulasi ini dibandingkan dengan nilai debit aktual (pengamatan). Pemodelan GenRiver ini membandingkan perubahan penggunaan lahan, curah hujan dan debit Sub DAS Brangkal pada tahun 2000, 2004, 2009 dan 2014. Hasil perbandingan tersebut dianalisis menggunakan regresi linier ( $R^2$ ). Perbandingan bertujuan untuk menilai apakah model tersebut dapat digunakan untuk simulasi pada Sub DAS Brangkal. Hasil akhir dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh dari perubahan penggunaan lahan terhadap debit aliran sungai.



Gambar 9. Validasi model

Berdasarkan hasil simulasi model didapatkan nilai debit ( $Q$ ) simulasi yang memiliki pola yang sama dengan debit ( $Q$ ) aktual atau pengamatan. Nilai  $R^2$  antara nilai debit aktual dan pengamatan pada gambar di bawah ini.



Gambar 10. Hubungan debit simulasi dan pengamatan

Gambar 10 menunjukkan nilai  $R^2$  perbandingan debit simulasi dengan nilai aktual. Pada tahun 2000 nilai  $R^2$  sebesar 0,371, nilai  $R^2$  tahun 2004 sebesar 0,504, tahun 2009 nilai  $R^2$  0,584 dan tahun nilai  $R^2$  2014 sebesar 0,483. Nilai korelasinya dari keempat tahun (2000, 2004, 2009 dan 2014) dapat dilihat di Lampiran 13. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara debit simulasi dan aktual adalah sangat kuat. Hubungan korelasi yang lebih dari 0,5 dapat disimpulkan bahwa pemodelan GenRiver dapat digunakan untuk di Sub DAS Brangkal. Tinggi atau rendahnya nilai debit simulasi dibandingkan dengan nilai debit aktual disebabkan curah hujan, evaporasi, infiltrasi, serta keadaan vegetasi di sekitar sungai.

Menurut Suyono dan Takeda (1978) bahwa banjir di daerah pengaliran yang besar kadang-kadang terjadi oleh curah hujan lebat yang distribusinya merata dan

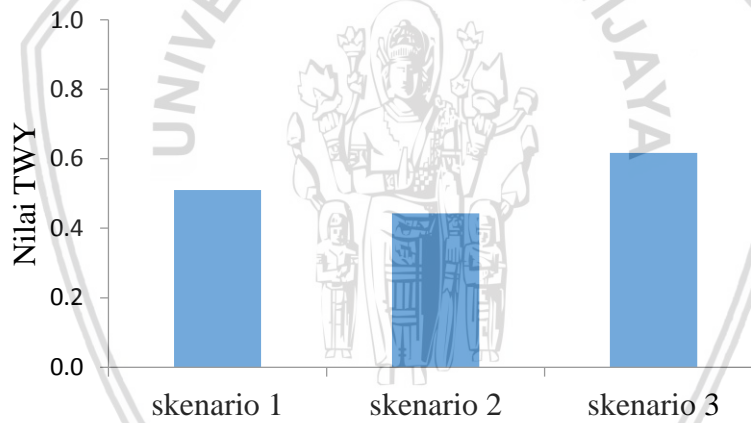
sering kali terjadi oleh curah hujan biasa yang mencakup daerah yang luas meskipun intensitasnya kecil. Sebaliknya, di daerah pengaliran yang kecil, debit puncak maksimum dapat terjadi oleh curah hujan lebat di daerah sempit.

#### 4.3.2. Pengaruh Tata Guna Lahan Berdasarkan RTRW, Kemampuan Lahan Dibandingkan Kondisi Penggunaan Lahan Aktual Terhadap Indikator Hidrologi

Penilaian debit hasil skenario berdasarkan indikator hidrologi, yaitu *Total Water Yield* (TWY), *Buffering Indicator* (BI), *Relative Buffering Indicator* (RBI) dan *Buffering Peak Event* (BPE) dari masing-masing skenario.

##### 1. *Total Water Yield* (TWY)

*Total Water Yield* (TWY) menggambarkan transmisi air yang terjadi pada suatu daerah aliran sungai. Nilai TWY pada masing-masing skenario tutupan lahan dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Nilai *Total Water Yield* (TWY) tiap skenario

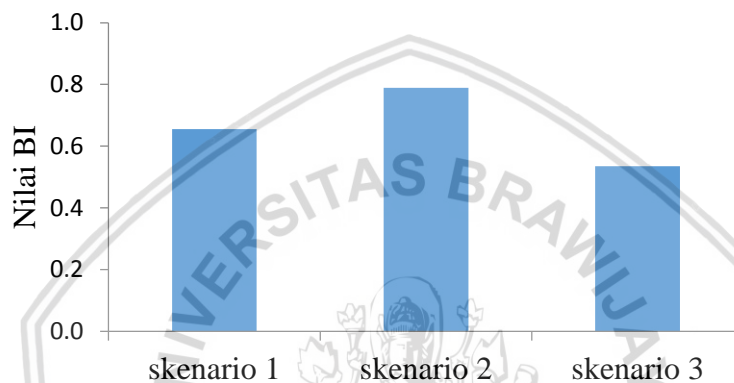
*Total Water Yield* (TWY) dari skenario 1 penggunaan lahan berdasarkan RTRW mempunyai nilai yang lebih tinggi dari berbagai skenario. Nilai TWY merupakan pembagian dari antara Q total dan P total, dimana semakin besar nilai debit (Q) berbanding lurus dengan dengan peningkatan nilai TWY.

Perubahan naik dan turunnya nilai TWY membuktikan bahwa penggunaan lahan yang berdasarkan kemampuan lahan mempunyai kemampuan untuk menyimpan air dan sedikit air yang dikeluarkan. TWY mempunyai kaitan terhadap jumlah air yang dihasilkan dan disimpan pada suatu lahan. Fungsi dari skenario ini untuk mengetahui

penggunaan lahan yang mempunyai nilai TWY paling rendah dan tinggi. Apabila kondisi penggunaan lahan yang sesuai dengan konservasi tanah dan air, maka nilai TWY yang dihasilkan juga akan semakin kecil.

## 2. *Buffering Indicator (BI)*

*Buffering Indicator (BI)* menggambarkan kemampuan suatu daerah aliran sungai dalam menyangga kejadian puncak hujan. Nilai BI dari masing-masing skenario tutupan lahan dapat dilihat pada Gambar

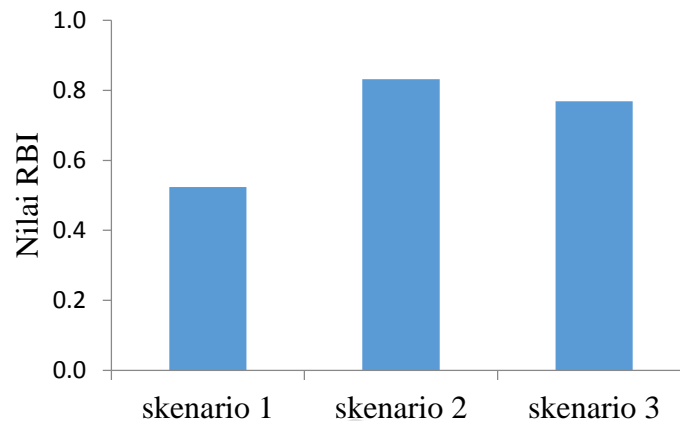


Gambar 12. Nilai *Buffering Indicator (BI)* pada tiap skenario

*Buffering Indicator (BI)* dari berbagai skenario penggunaan lahan menunjukkan bahwa penggunaan lahan skenario 2 yang berdasarkan kemampuan lahan mempunyai nilai paling tertinggi dibandingkan dengan skenario 1 (RTRW) dan skenario 3(aktual). Skenario ini membuktikan bahwa penggunaan lahan yang berdasarkan kemampuan lahan berpengaruh signifikan terhadap nilai BI. Semakin meningkatnya luasan hutan nilai BI semakin meningkat yang berarti bahwa kemampuan Sub DAS Brangkal dalam menyangga kejadian puncak hujan meningkat pula. Seperti halnya pada kondisi aktual dengan berkurangnya luasan hutan nilai BI (*Buffering Indicator*) semakin kecil.

## 3. *Relative Buffering Indicator (RBI)*

*Relative Buffering Indicator (RBI)* menggambarkan kemampuan suatu daerah aliran sungai relatif dalam menyangga kejadian puncak hujan. Nilai RBI dari masing-masing skenario tutupan lahan dapat dilihat pada Gambar 13.

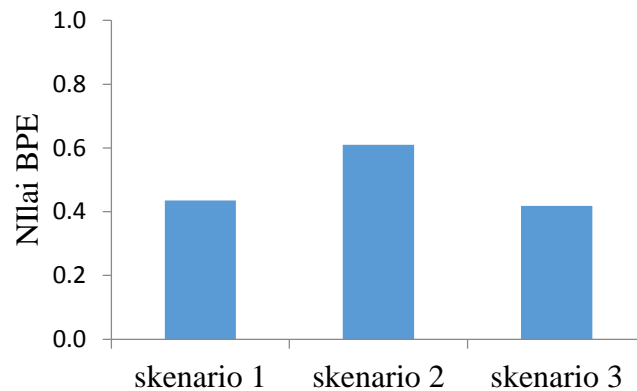


Gambar 13 . Nilai *Relative Buffering Indicator* (RBI) pada tiap skenario

Dari Gambar 13 dapat memperlihatkan nilai RBI pada berbagai skenario. Nilai RBI (*Relative Buffering Indicator*) mengalami peningkatan pada skenario 2 yang dimana tata guna lahan berdasarkan kemampuan lahan. Jika dilihat dari nilai RBI menunjukkan bahwa penggunaan lahan yang berdasarkan kemampuan lahan dapat menyangga kejadian puncak hujan. Hal tersebut terjadi karena kejadian banjir dipengaruhi intensitas hujan. Jika hujan turun dengan intensitas yang lama akan mengakibatkan banjir. Menurut Murdiyarso dan Kurnianto (2007) bahwa banjir akan menjadi lebih besar apabila penyimpanan (*water saving*) tidak bisa menahan limpasan. Hutan yang berfungsi sebagai daya simpan air tidak mampu lagi menjalankan fungsinya. Hutan mampu mengatur limpasan dan infiltrasi.

#### 4. *Buffering Peak Event* (BPE)

*Buffering Peak Event* (BPE) menggambarkan kemampuan suatu DAS untuk menyangga kejadian puncak hujan jika dikaitkan dengan kejadian banjir. Semakin besar nilai BPE maka kemampuan suatu DAS semakin besar pula. Nilai BPE dari masing-masing skenario tutupan lahan dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Nilai *Buffering Peak Event* (BPE) pada tiap skenario

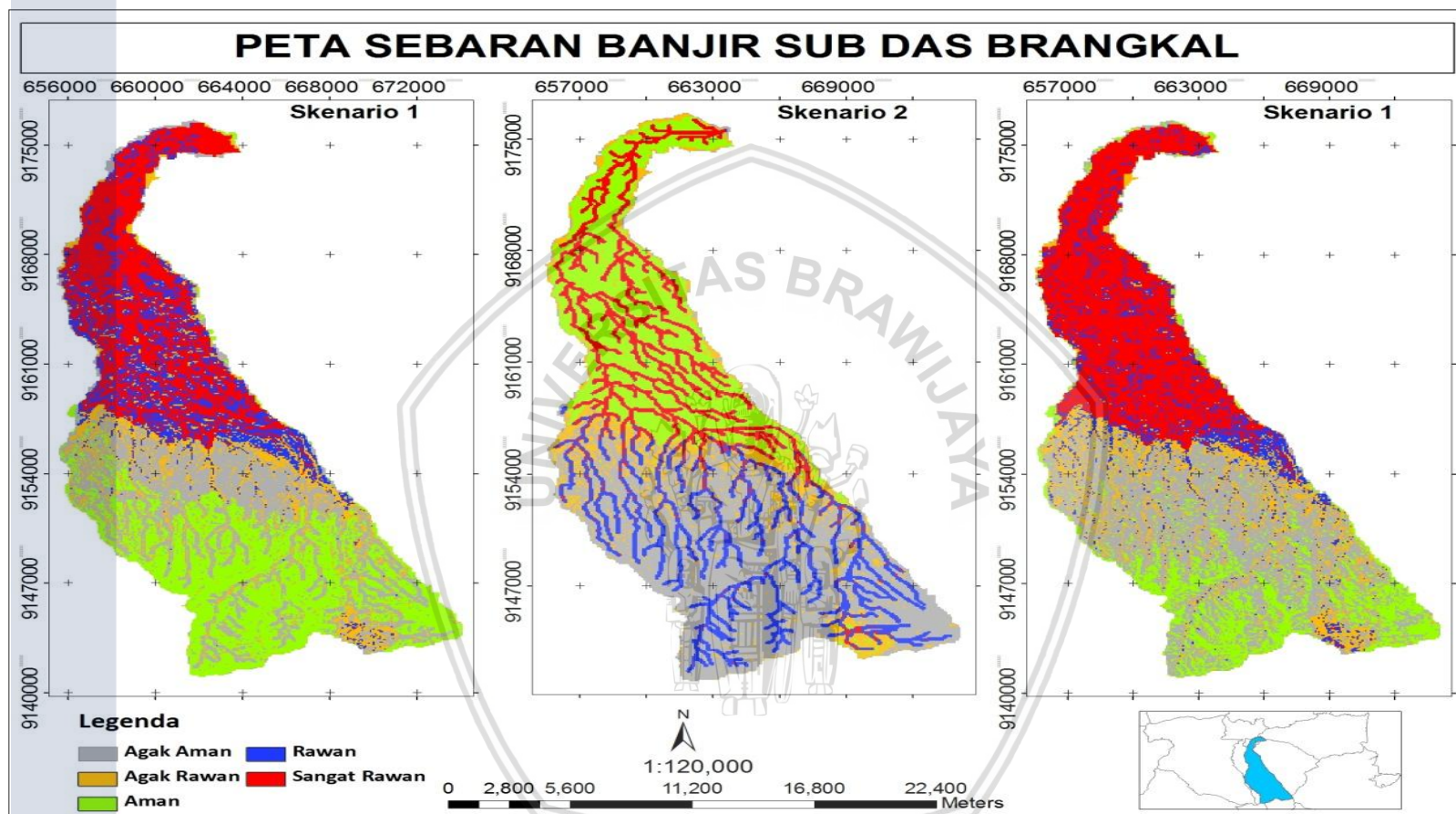
Perubahan penggunaan lahan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan menyangga kejadian puncak hujan. Kemampuan menyangga terbaik terjadi pada perencanaan penggunaan lahan berdasarkan kemampuan lahan. Hal ini dikarenakan nilai BPE (*Buffering Peak Event*) pada penggunaan lahan berdasarkan kemampuan lahan mempunyai nilai lebih tinggi daripada skenario 1 (RTRW) dan 2 (aktual). Menurut Arsyad (2006) air hujan yang jatuh menimpa tanah terbuka akan menyebabkan tanah terdispersi. Sebagian dari air hujan yang jatuh tersebut, jika intensitas hujan melebihi kapasitas infiltrasi tanah akan mengalir ke permukaan tanah.

#### 4.3.3. Sebaran banjir

Daerah rawan banjir adalah daerah yang dari segi fisik dan klimatologis memiliki kemungkinan terjadi banjir dalam jangka waktu tertentu dan berpotensi merusak alam. Pemetaan daerah rawan banjir ini mempunyai tujuan untuk mengidentifikasi daerah mana saja merupakan daerah rawan banjir. Sehingga dengan adanya pemetaan ini diharapkan masyarakat atau pemerintah mempunyai rencana untuk pencegahan dan pengendalian terhadap banjir.

Dari peta kerawanan banjir yang dibuat berdasarkan faktor penentu banjir di dapat bahwa Sub DAS Brangkal mempunyai 5 kelas kerawanan banjir yaitu aman, agak aman, agak rawan, rawan dan sangat rawan.





Gambar 15. Peta sebaran kerawanan banjir

Tabel 12. Luas daerah rawan banjir tiap skenario

Tingkat Kerawanan	Skenario 1(ha)	Skenario 2 (ha)	Skenario 3 (ha)
Aman	903.07	4747.23	1390.85
Agak Aman	2319.81	9081.13	1198.45
Agak Rawan	9807.08	11671.15	10273.94
Rawan	6308.49	1084.91	11408.34
Sangat Rawan	7525.25	279.29	2592.13
TOTAL	26863.71	26863.71	26863.71

Pada skenario 1 yang tutupan lahan berdasarkan dengan Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) untuk tingkat kerawanan banjir aman seluas 903,07 ha dan agak aman 2319,81 ha. Paling luas adalah agak rawan luasnya 9807,08 ha. Kelas rawan 6308,49 ha dan kelas sangat rawan 7525,25 ha. Kelas kerawanan banjir pada skenario 2 menurut kemampuan lahan yang paling luas adalah kelas agak rawan 11671,15 ha. Kelas aman 4747,23 ha, kelas agak aman 9081,13 ha, kelas agak rawan 11671,15 ha, kelas rawan 1084,91 ha dan kelas 279,29 ha. Skenario 3 dengan tutupan lahan yang berdasarkan kondisi aktual tahun 2016. Kelas aman 1390,85 ha, kelas agak aman 1198,45 ha, kelas agak rawan 10273,94 ha, 11408,34 ha dan sangat rawan 2592,13 ha.

Peningkatan kebutuhan akan ruang untuk kegiatan manusia khususnya peningkatan kegiatan perekonomian yang mempengaruhi kawasan resapan air terutama kawasan yang ada di sepanjang DAS. Penggundulan hutan di daerah tangkapan air hujan (*catchment area*) juga menyebabkan peningkatan debit banjir, karena debit air yang masuk ke dalam sistem aliran menjadi tinggi sehingga melampaui kapasitas pengaliran. Pada daerah pemukiman dimana telah padat dengan bangunan, tingkat resapan air ke dalam tanah berkurang. Jika terjadi hujan dengan curah hujan yang tinggi sebagian besar air akan menjadi aliran permukaan yang langsung masuk ke dalam sistem pengaliran air (Bakornas, 2009)

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

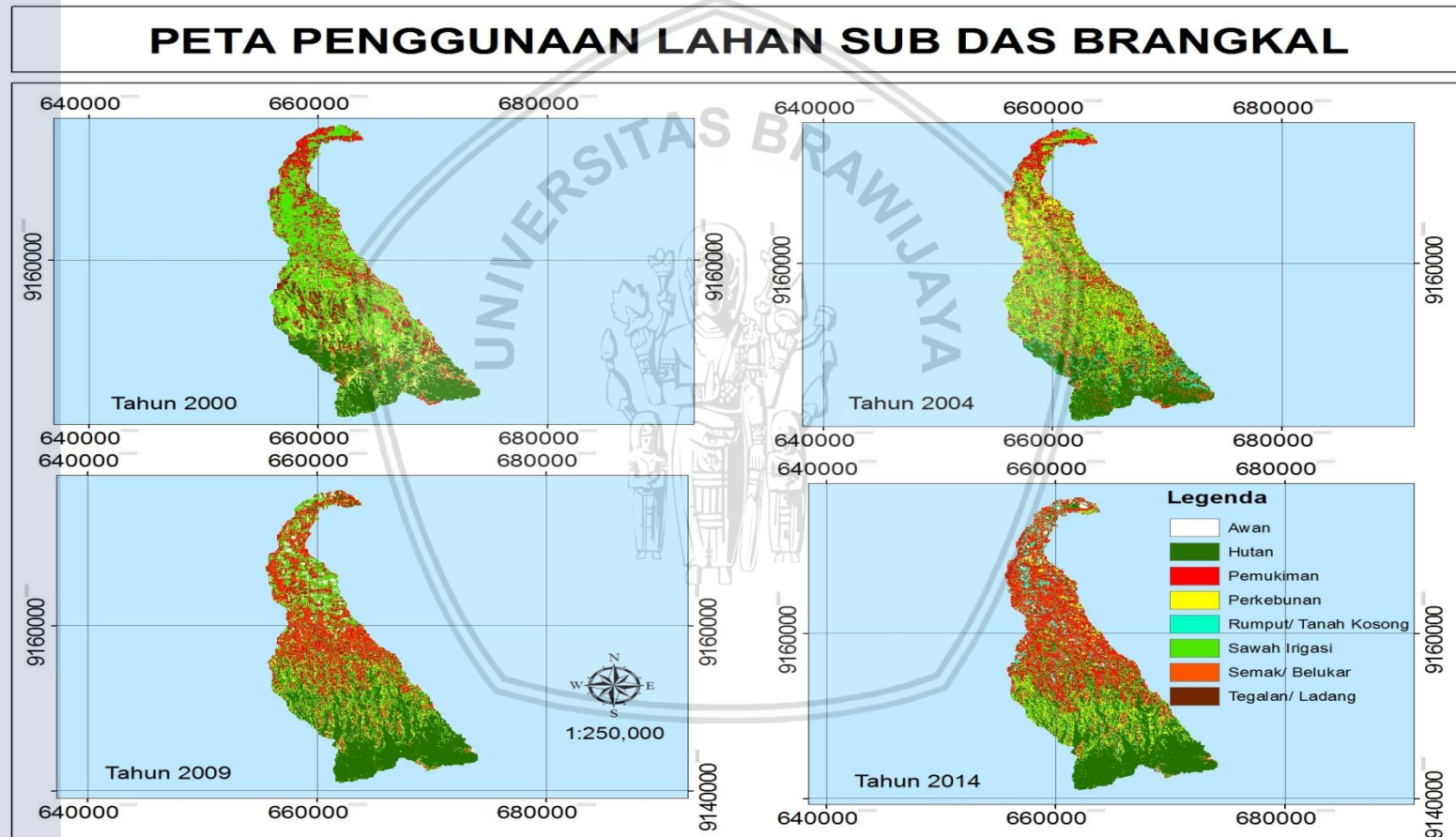
1. Ada hubungan yang sangat kuat antara sifat hujan dan penggunaan lahan terhadap indikator hidrologi. Penggunaan lahan yang mempunyai pengaruh dominan terhadap nilai indikator hidrologi adalah pemukiman dan hutan. Pemukiman lebih mempengaruhi terhadap nilai *Total Water Yield* (TWY). Penggunaan lahan sawah dan tegalan/ladang mempengaruhi nilai *Relative Buffering Indicator* (RBI). Sedangkan penggunaan lahan hutan dan hutan+perkebunan lebih dominan mempengaruhi nilai *Buffering Indicator* (BI) dan *Buffering Peak Event* (BPE).
2. Nilai indikator hidrologi berbagai skenario penggunaan lahan berdasarkan RTRW, kemampuan lahan dan aktual dapat disimpulkan bahwa penggunaan lahan yang berdasarkan skenario tata guna lahan yang mempunyai nilai TWY (*Total Water Yield*) tertinggi pada skenario berdasarkan tata guna lahan aktual. Pada nilai indikator hidrologi BI (*Buffering Indicator*), RBI (*Relative Buffering Indicator*) dan BPE (*Buffering Peak Event*) tertinggi pada skenario 2 dimana tata guna lahan berdasarkan kemampuan lahan. Sebaran daerah rawan banjir pada Sub DAS Brangkal dapat disimpulkan pada skenario 2 dimana tata guna lahan berdasarkan kemampuan lahan mempunyai luasan daerah rawan banjir yang kategori aman lebih luas dibandingkan dengan skenario 1 (RTRW) dan skenario 3 (aktual).

### 5.2. Saran

Penggunaan model hidrologi (Genriver) dapat mengevaluasi tindakan untuk merencanakan pengelolaan DAS. Sehingga dapat dihasilkan kondisi DAS yang sehat berdasarkan ekologi atau ekonomi. Pengelolaan DAS yang baik akan mengurangi dampak buruk. Sehingga masyarakat memperoleh manfaatnya. Perlu adanya kordinasi antar *stakeholder*. Perlu dilakukan perbaikan tata guna lahan dengan memandang aspek ekologi maupun ekonomi berdasarkan keruangan dan penelitian lanjutan berdasarkan aspek sosial ekonomi dan keadaan terkini Sub DAS Brangkal.

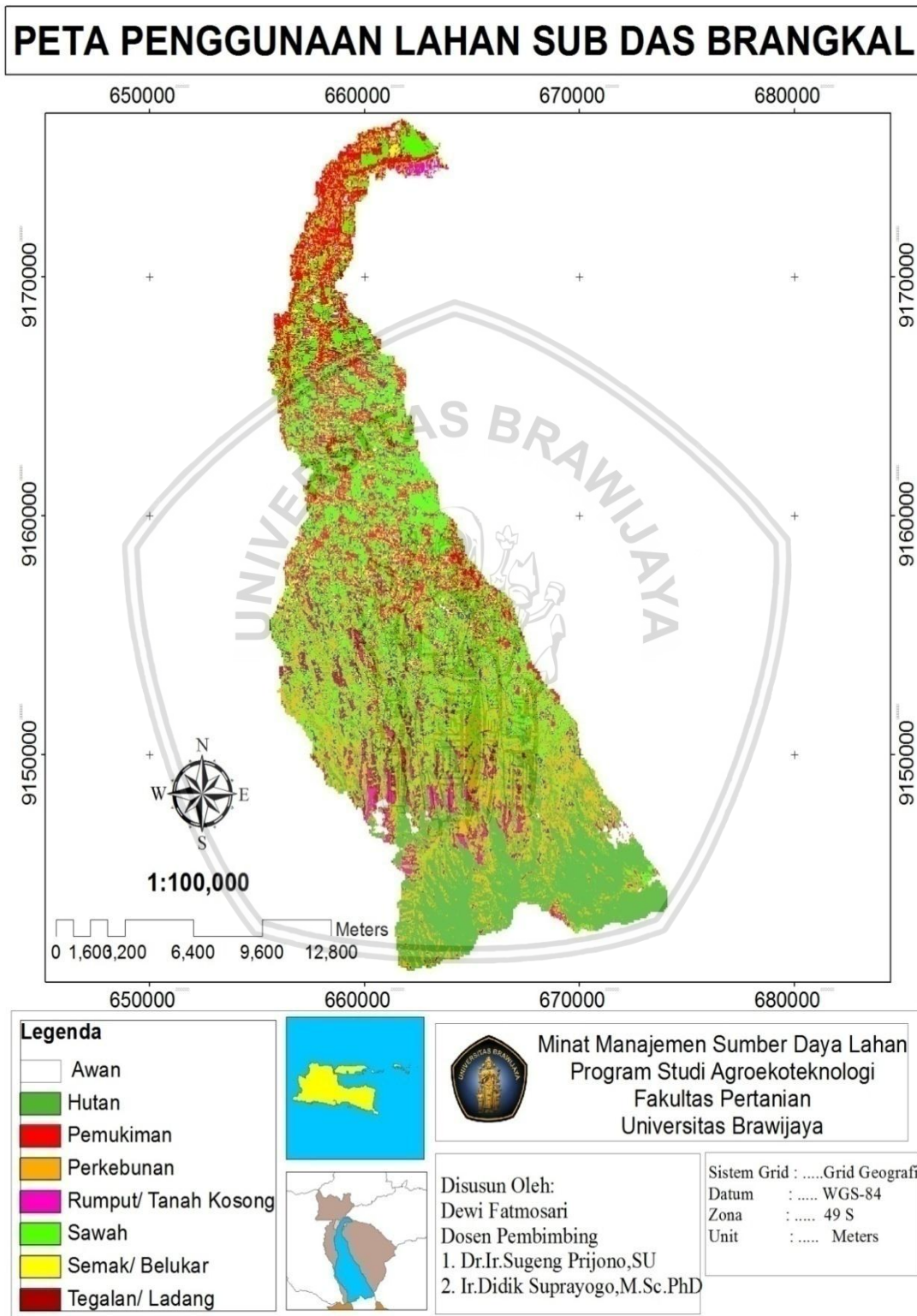
## LAMPIRAN

Lampiran 1. Peta Penggunaan Lahan tahun 2000, 2004, 2009 dan 2014

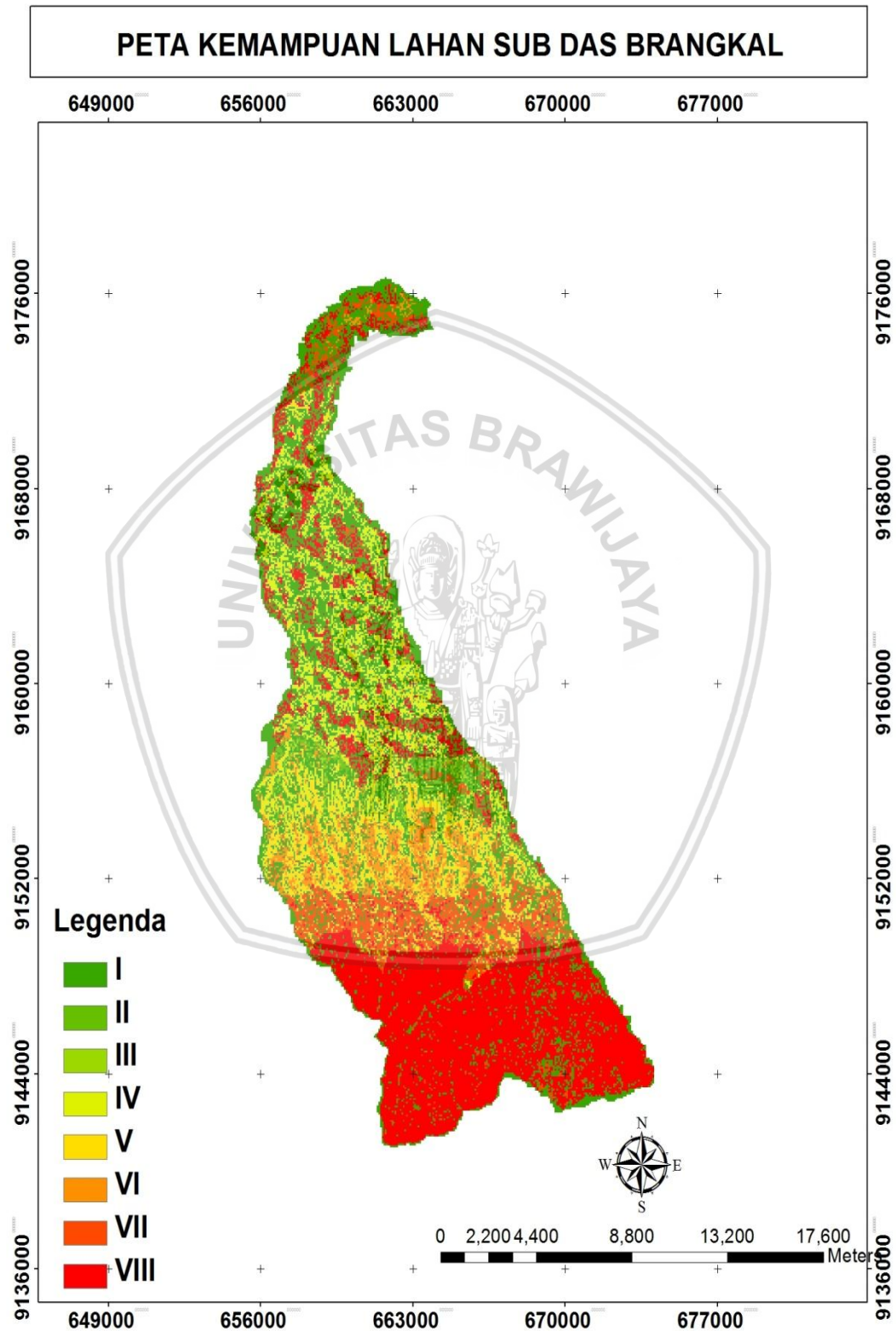




Lampiran 2. Peta penggunaan lahan Sub DAS Brangkal tahun 2016

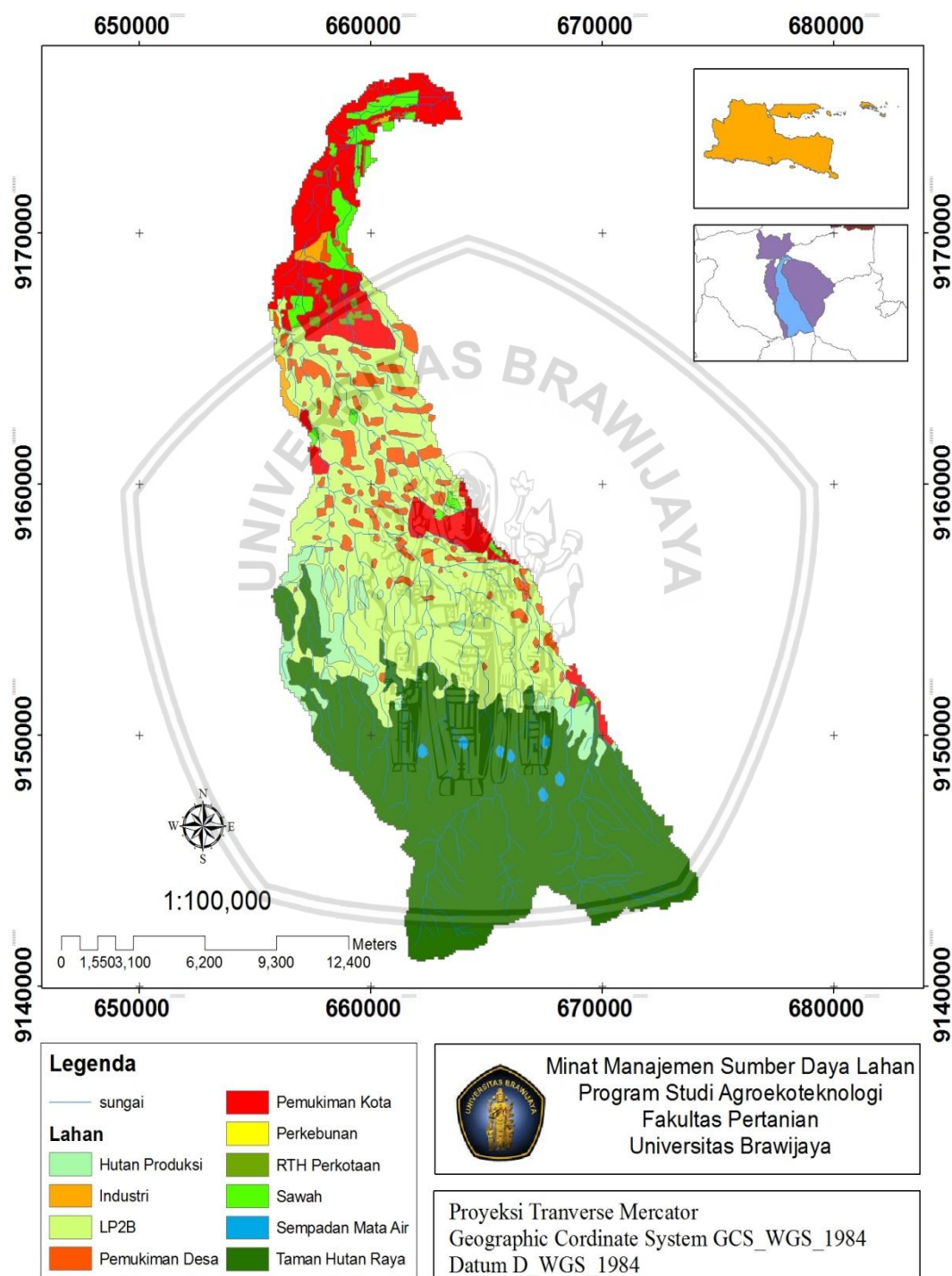


Lampiran 3. Peta kemampuan lahan Sub DAS Brangkal



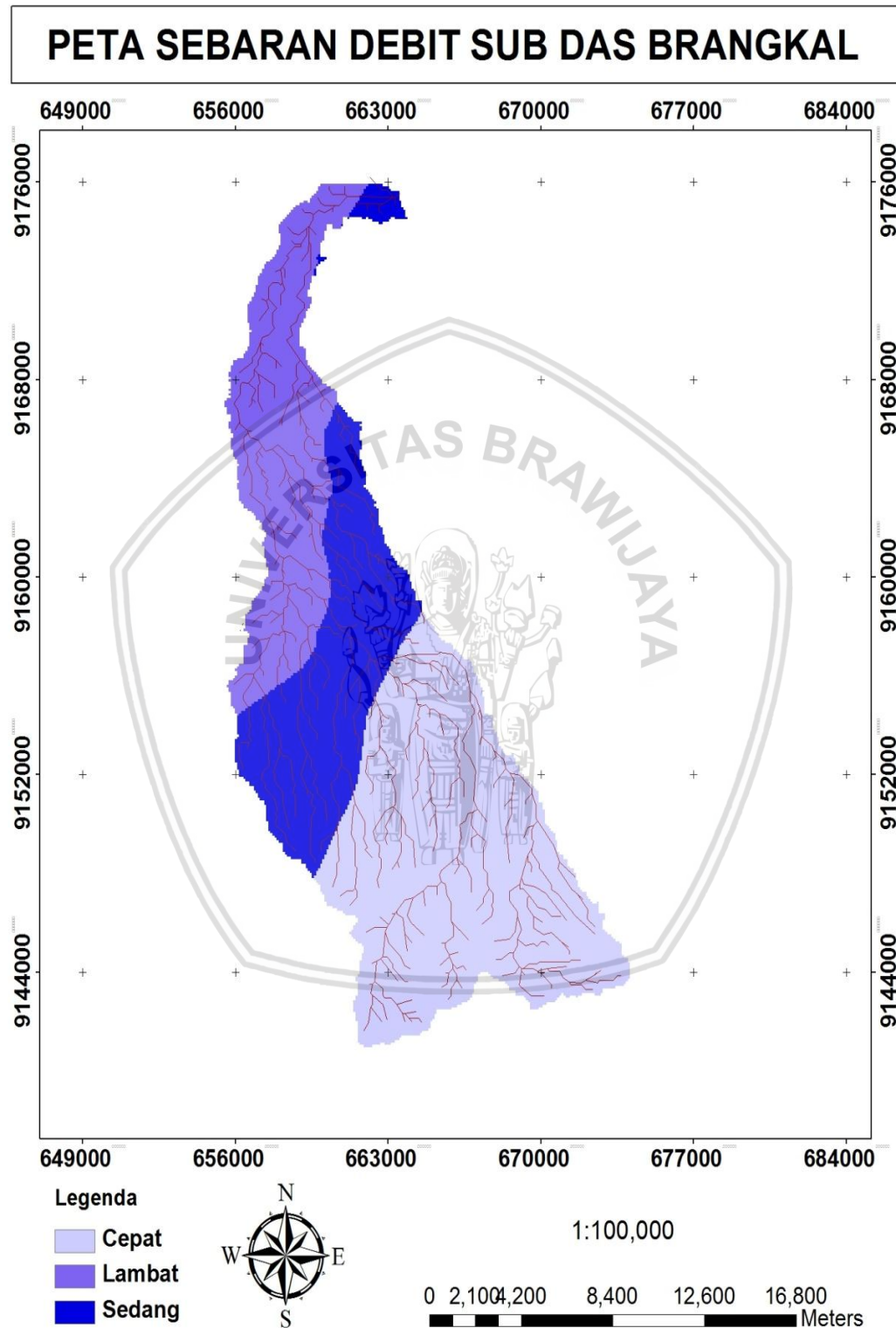
Lampiran 4. Peta RTRW tahun 2012- 2032 Sub DAS Brangkak

# PETA RTRW SUB DAS BRANGKAL TAHUN 2012 - 2032

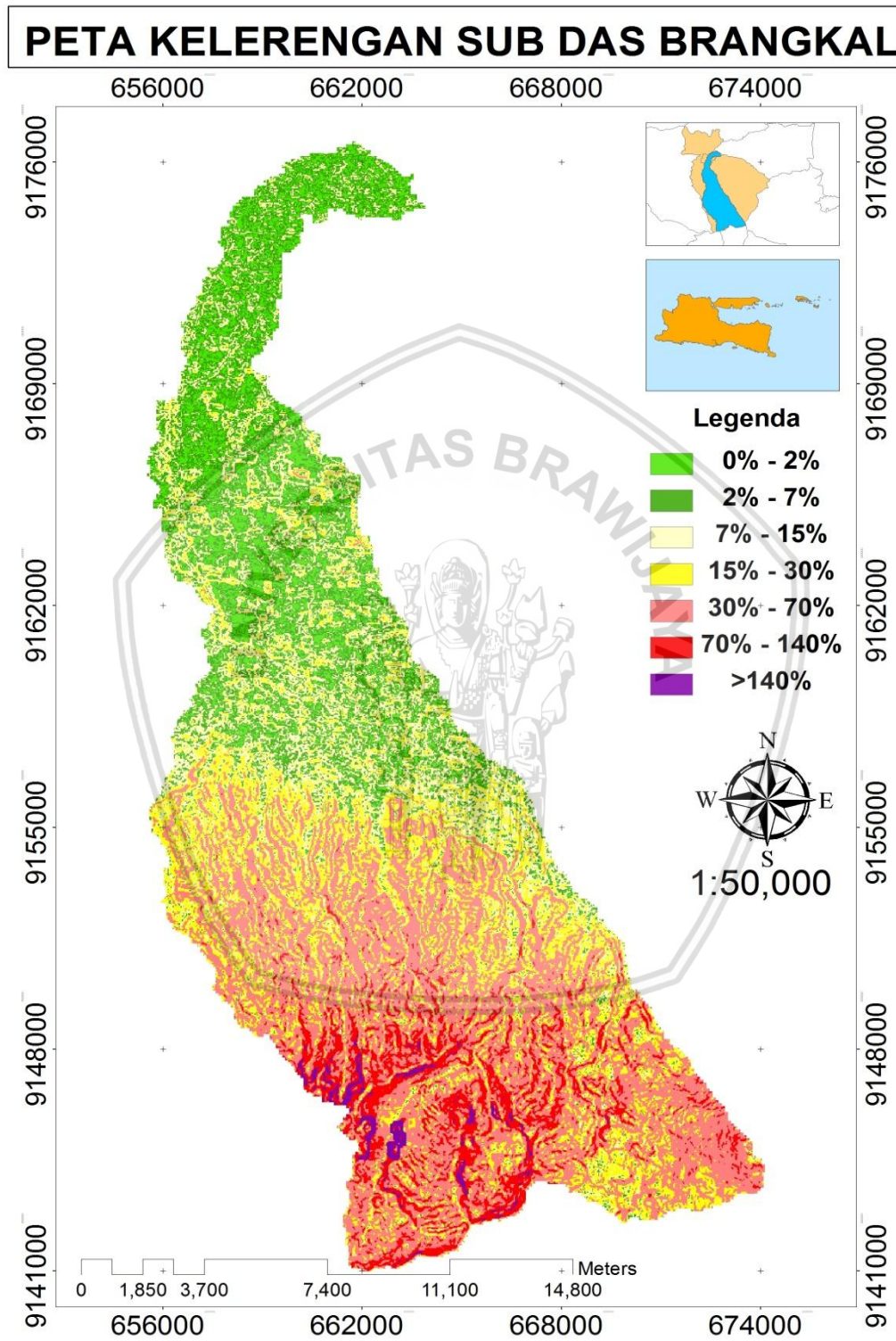




Lampiran 5. Peta Sebaran Debit Sub DAS Brangkal



Lampiran 6. Peta Lereng Sub DAS Brangkal



## Lampiran 7. Nilai Skor Tiap Parameter

Parameter	Kelas	Skor
Lereng	Datar ( 0%- 3%)	90
	Berombak (3%- 8%)	75
	Bergelombang (8%- 15%)	40
	Berbukit Kecil (15%-30%)	20
	Berbukit (30%- 45%)	1
	Berbukit curam/ terjal (>45%)	0
Tekstur	Sangat Halus	90
	Halus	75
	Sedang	50
	Kasar	25
	Sangat Kasar	10
Bentuk Lahan	Dataran Banjir	90
	Cekungan di Dataran Tinggi	70
	Aliran Lava	50
	Punggung Volkan	35
	Pesisir Pantai, Rawa	30
	Punggung Plateau	20
	Lereng Volkan Bawah, Perbukitan Volkan	10
	Terpisah, Kipas Aluvial	1
	Lereng Volkan Tengah	1
	Lereng Volkan Atas, Lereng Terjal	0
Buffer Sungai	Sangat Rawan	70
	Rawan	50
	Agak Rawan	30
Penggunaan Lahan	Sawah, Tanah Terbuka	90
	Pertanian lahan Kering, Pemukiman	70
	Semak, Belukar, Alang-alang	50
	Perkebunan	30
	Hutan	10
	Awan dan Bayangan	10

---

**Curah Hujan**

Bulanan	>500 mm	90
	475 mm - 500 mm	80
	450 mm - 474 mm	70
	425 mm - 449 mm	60
	400 mm - 424 mm	50
	375 mm - 399 mm	40
	350 mm - 374 mm	30
	325 mm - 349 mm	20
	300 mm - 324 mm	10
	<300 mm	1

---

Sumber : Utomo (2004)



Lampiran 8. Tabel Korelasi Hubungan Hujan dan Debit

	<i>Hujan 2000</i>	<i>Debit 2000</i>	<i>Hujan 2004</i>	<i>Debit 2004</i>	<i>Hujan 2009</i>	<i>Debit 2009</i>	<i>Hujan 2014</i>	<i>Debit 2014</i>
Hujan 2000	1.00							
Debit 2000	0.71	1.00						
Hujan 2004	0.23	0.20	1.00					
Debit 2004	0.16	0.12	0.88	1.00				
Hujan 2009	0.27	0.35	0.31	0.19	1.00			
Debit 2009	0.24	0.26	0.28	0.18	0.88	1.00		
Hujan 2014	0.22	0.24	0.28	0.26	0.19	0.14	1.00	
Debit 2014	0.18	0.22	0.20	0.22	0.11	0.07	0.84	1.00

Lampiran 9. Tabel Korelasi Hubungan Penggunaan Lahan dengan BI

	Hutan	BI	Sawah	BI	Perkebunan	BI	Pemukiman	BI	Semak/ Belukar	BI	Tegalan /ladang	BI	Rumput/ Tanah Kosong	BI	Hutan +Pk	BI
<i>Hutan</i>	1															
<i>BI</i>	0.93	1														
<i>Sawah</i>	-0.86	0.62	1													
<i>BI</i>	-0.93	0.98	0.66	1												
<i>Perkebunan</i>	-0.12	0.16	-0.08	0.05	1											
<i>BI</i>	-0.93	0.98	0.66	1.00	-0.05	1										
<i>Pemukiman</i>	0.46	0.11	-0.81	0.11	-0.08	0.11	1									
<i>BI</i>	-0.60	0.56	0.43	0.39	0.85	0.39	-0.41	1								
<i>Semak/ belukar</i>	0.98	0.84	-0.93	0.83	-0.15	0.83	0.63	0.64	1							
<i>BI</i>	0.79	0.56	-0.87	0.50	-0.41	0.50	0.84	0.79	0.89	1						
<i>Tegalan /Ladang</i>	-0.83	0.59	0.96	0.57	0.19	0.57	-0.87	0.64	-0.93	0.97	1					
<i>BI</i>	0.86	0.65	-0.97	0.73	0.28	0.73	0.69	0.26	0.90	0.74	-0.87	1				
<i>Rumput/ Tanah Kosong</i>	0.60	0.32	-0.82	0.26	-0.37	0.26	0.94	0.69	0.76	0.96	-0.93	0.67	1			
<i>BI</i>	0.65	0.39	-0.82	0.32	-0.42	0.32	0.91	0.76	0.79	0.98	-0.94	0.66	1.00	1		
<i>Hutan+Pk</i>	0.84	0.75	-0.82	0.86	0.45	0.86	0.37	0.07	0.80	0.48	-0.65	0.92	0.34	0.35	1	
<i>BI</i>	0.47	0.19	-0.81	0.34	0.58	0.34	0.73	0.14	0.56	0.48	-0.66	0.86	0.54	0.49	0.75	1



Lampiran 10. Tabel Korelasi Hubungan Penggunaan Lahan dengan TWY

	<i>Hutan</i> <i>n</i>	<i>TW</i> <i>Y</i>	<i>Sawah</i> <i>h</i>	<i>TW</i> <i>Y</i>	<i>Perkebunan</i> <i>n</i>	<i>TW</i> <i>Y</i>	<i>Pemukiman</i> <i>n</i>	<i>TW</i> <i>Y</i>	<i>Semak/ Belukar</i> <i>r</i>	<i>TW</i> <i>Y</i>	<i>Tegalan/ ladang</i> <i>n</i>	<i>TW</i> <i>Y</i>	<i>Rumput/ Tanah Kosong</i> <i>Y</i>	<i>TW</i> <i>Y</i>	<i>Hutan + Pk</i> <i>Y</i>	<i>TW</i> <i>Y</i>
<i>Hutan</i>	1															
<i>TWY</i>	0.65	1														
<i>Sawah</i>	-0.86	0.78	1													
<i>TWY</i>	-0.98	0.63	0.93	1												
<i>Perkebunan</i>	-0.12	0.50	-0.08	0.06	1											
<i>TWY</i>	-0.44	0.46	0.81	0.61	-0.54	1										
<i>Pemukiman</i>	0.46	0.87	-0.81	0.54	-0.08	0.78	1									
<i>TWY</i>	0.10	0.80	-0.47	0.15	-0.37	0.46	0.88	1								
<i>Semak/ belukar</i>	0.98	0.78	-0.93	0.97	-0.15	0.54	0.63	0.31	1							
<i>TWY</i>	-0.72	1.00	0.81	0.69	0.50	0.44	-0.83	0.74	-0.83	1						
<i>Tegalan/ Ladang</i>	-0.83	0.92	0.96	0.86	0.19	0.68	-0.87	0.63	-0.93	0.94	1					
<i>TWY</i>	-0.27	0.55	0.01	0.30	-0.60	0.01	0.53	0.87	-0.10	0.47	-0.22	1				
<i>Rumput/ Tanah Kosong</i>	0.60	0.98	-0.82	0.63	-0.37	0.59	0.94	0.85	0.76	0.97	-0.93	0.56	1			
<i>TWY</i>	-0.84	0.51	0.93	0.94	-0.37	0.82	-0.60	0.16	-0.86	0.55	0.80	0.34	-0.56	1		
<i>Hutan+ Pk</i>	0.84	0.31	-0.82	0.91	0.45	0.69	0.37	0.11	0.80	0.37	-0.65	0.58	0.34	0.96	1	
<i>TWY</i>	0.03	0.45	0.49	0.14	-0.31	0.82	-0.83	0.77	-0.16	0.38	0.47	0.50	-0.59	0.37	-0.15	1

Lampiran 11. Tabel Korelasi Hubungan Penggunaan Lahan dengan BPE

	Hutan	BPE	Sawah	BPE	Perkebunan	BPE	Pemukiman	BPE	Semak/ Belukar	BPE	Tegalan/ ladang	BPE	Rumput/ Tanah Kosong	BPE	Hutan+ Pk	BPE
<i>Hutan</i>	1															
<i>BPE</i>	0.97	1														
<i>Sawah</i>	-0.86	0.95	1													
<i>BPE</i>	-0.41	0.57	0.65	1												
<i>Perkebunan</i>	-0.12	0.08	-0.08	0.50	1											
<i>BPE</i>	-0.91	0.80	0.57	0.22	0.36	1										
<i>Pemukiman</i>	0.46	0.65	-0.81	0.91	-0.08	0.12	1									
<i>BPE</i>	0.67	0.74	-0.84	0.20	0.60	0.33	0.55	1								
<i>Semak/ belukar</i>	0.98	1.00	-0.93	0.58	-0.15	0.83	0.63	0.69	1							
<i>BPE</i>	0.58	0.49	-0.25	0.44	-0.86	0.79	0.11	0.22	0.55	1						
<i>Tegalan/ Ladang</i>	-0.83	0.93	0.96	0.82	0.19	0.60	-0.87	0.66	-0.93	0.45	1					
<i>BPE</i>	0.37	0.38	-0.25	0.73	-0.94	0.49	0.38	0.30	0.44	0.89	-0.51	1				
<i>Rumput/ Tanah Kosong</i>	0.60	0.75	-0.82	0.97	-0.37	0.38	0.94	0.42	0.76	0.44	-0.93	0.65	1			
<i>BPE</i>	0.06	0.17	0.43	0.75	-0.05	0.40	-0.86	0.29	-0.14	0.26	0.49	0.15	-0.69	1		
<i>Hutan+ Pk</i>	0.84	0.83	-0.82	0.09	0.45	0.62	0.37	0.93	0.80	0.05	-0.65	0.18	0.34	0.03	1	
<i>BPE</i>	0.67	0.73	-0.67	0.89	-0.68	0.61	0.71	0.16	0.76	0.78	-0.85	0.89	0.90	0.37	0.23	1

Lampiran 12. Tabel Korelasi Hubungan Penggunaan Lahan dengan RBI

	Hutan	RBI	Sawah	RBI	Perkebunan	RBI	Pemukiman	RBI	Semak/ Belukar	RBI	Tegalan/ ladang	RBI	Rumput/ Tanah Kosong	RBI	Hutan+Pk	RBI
<i>Hutan</i>	1															
<i>RBI</i>	0.75	1														
<i>Sawah</i>	-0.86	0.42	1													
<i>RBI</i>	-0.87	0.34	0.92	1												
<i>Perkebunan</i>	-0.12	0.70	-0.08	0.35	1											
<i>RBI</i>	0.78	0.19	-0.95	0.97	0.40	1										
<i>Pemukiman</i>	0.46	0.15	-0.81	0.55	-0.08	0.69	1									
<i>RBI</i>	-0.96	0.85	0.67	0.74	0.22	0.58	-0.20	1								
<i>Semak/ belukar</i>	0.98	0.71	-0.93	0.88	-0.15	0.82	0.63	0.88	1							
<i>RBI</i>	0.22	0.67	-0.16	0.17	-0.95	0.17	0.39	0.24	0.31	1						
<i>Tegalan/ Ladang</i>	-0.83	0.55	0.96	0.79	0.19	0.82	-0.87	0.66	-0.93	-0.44	1					
<i>RBI</i>	0.96	0.64	-0.96	0.91	-0.07	0.87	0.67	0.85	1.00	0.26	-0.94	1				
<i>Rumput/ Tanah Kosong</i>	0.60	0.46	-0.82	0.53	-0.37	0.61	0.94	0.41	0.76	0.63	-0.93	0.76	1			
<i>RBI</i>	-0.23	0.53	0.31	0.06	0.83	0.00	-0.61	0.16	-0.37	-0.96	0.56	0.33	-0.78	1		
<i>Hutan+Pk</i>	0.84	0.30	-0.82	0.98	0.45	0.92	0.37	0.74	0.80	-0.32	-0.65	0.83	0.34	0.25	1	
<i>RBI</i>	0.85	0.67	-0.91	0.72	-0.33	0.73	0.81	0.71	0.94	0.55	-0.99	0.93	0.93	0.64	0.58	1

Lampiran 13. Tabel Korelasi Hubungan Debit Simulasi dan Debit Pengamatan

	<i>Aktual 2000</i>	<i>Simulasi 2000</i>	<i>Aktual 2004</i>	<i>Simulasi 2004</i>	<i>Aktual 2009</i>	<i>Simulasi 2009</i>	<i>Aktual 2014</i>	<i>Simulasi 2014</i>
Aktual 2000	1							
Simulasi 2000	0.61	1						
Aktual 2004	0.78	0.39	1					
Simulasi 2004	0.61	0.38	0.71	1				
Aktual 2009	0.54	0.23	0.47	0.14	1			
Simulasi 2009	0.42	0.19	0.38	0.13	0.76	1		
Aktual 2014	0.66	0.41	0.73	0.49	0.37	0.28	1	
Simulasi 2014	0.39	0.31	0.38	0.30	0.19	0.07	0.70	1

Lampiran 14. Hasil ANOVA Regresi di Genstat

Summary of analysis

Source	df	S.S.	M.S.	V.R.	F pr.
Regression	2	15924.	7962.18	204.01	<.001
Residual	362	14129.	39.03		
Total	364	30053.	82.56		

Percentage variance accounted for 52.7  
Standard error of observations is estimated to be 6.25.

Hubungan CH-Debit Tahun 2000

Summary of analysis

Source	df	S.S.	M.S.	V.R.	F pr.
Regression	1	1305.0	1305.044	1205.58	<.001
Residual	363	392.9	1.083		
Total	364	1698.0	4.665		

Percentage variance accounted for 76.8  
Standard error of observations is estimated to be 1.04.

Hubungan CH-Debit Tahun 2000

Summary of analysis

Source	df	S.S.	M.S.	V.R.	F pr.
Regression	1	417.8	417.8432	1208.89	<.001
Residual	363	125.5	0.3456		
Total	364	543.3	1.4926		

Percentage variance accounted for 76.8  
Standard error of observations is estimated to be 0.588.

Hubungan CH-Debit Tahun 2009

Summary of analysis

Source	df	S.S.	M.S.	V.R.	F pr.
Regression	1	508.5	508.5270	846.19	<.001
Residual	363	218.1	0.6010		
Total	364	726.7	1.9964		

Percentage variance accounted for 69.9  
Standard error of observations is estimated to be 0.775.

Hubungan CH-Debit Tahun 2004